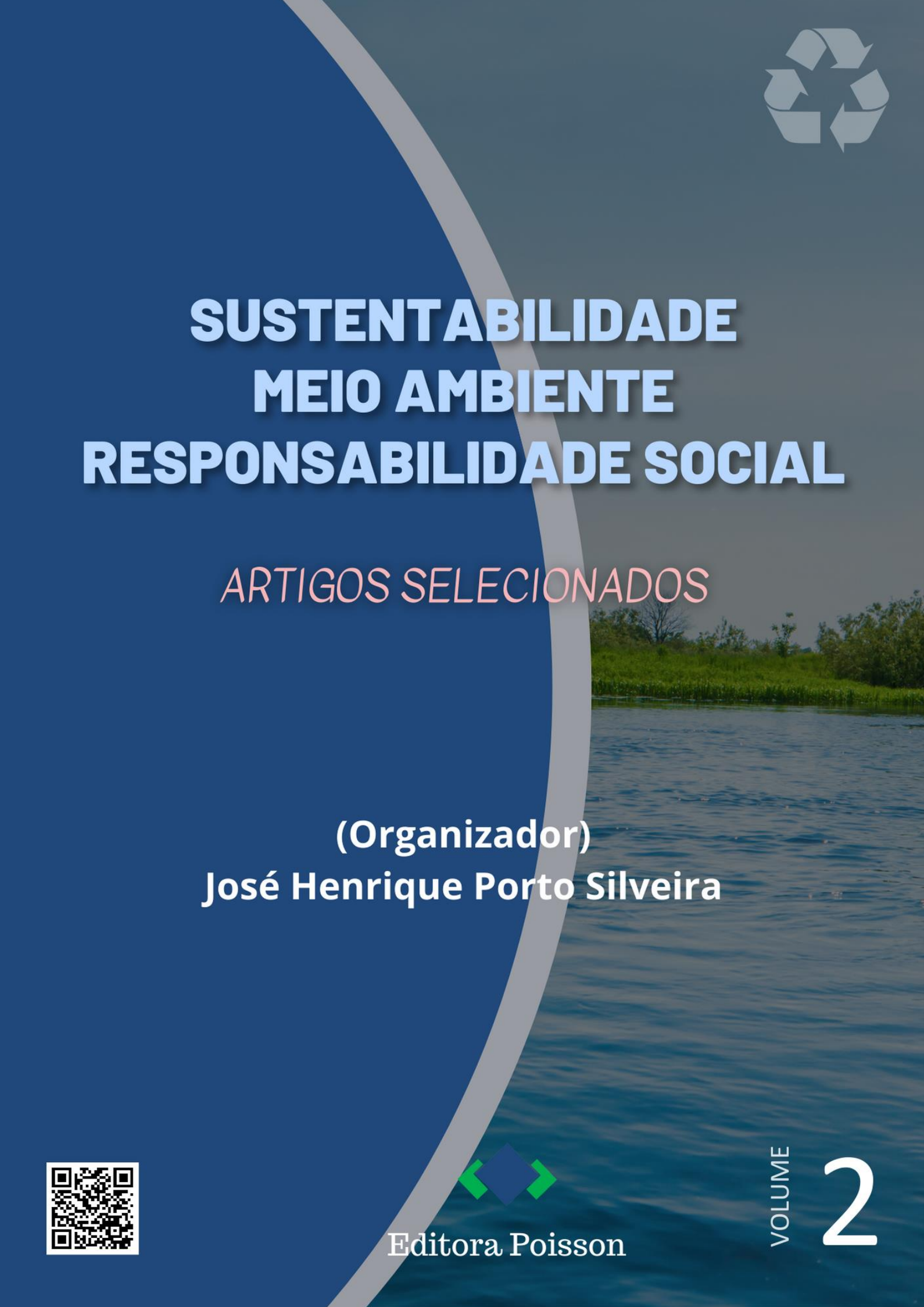


SUSTENTABILIDADE MEIO AMBIENTE RESPONSABILIDADE SOCIAL

ARTIGOS SELECIONADOS

(Organizador)
José Henrique Porto Silveira

Editora Poisson

VOLUME 2

José Henrique Porto Silveira
(Organizador)

Sustentabilidade, Meio Ambiente e Responsabilidade Social:

Artigos Selecionados

Volume 2

1ª Edição

Belo Horizonte
Poisson
2024

Editor Chefe: Dr. Darly Fernando Andrade

Conselho Editorial
Dr. Antônio Artur de Souza – Universidade Federal de Minas Gerais
MSc. Davilson Eduardo Andrade
Dra. Elizângela de Jesus Oliveira – Universidade Federal do Amazonas
MSc. Fabiane dos Santos
Dr. José Eduardo Ferreira Lopes – Universidade Federal de Uberlândia
Dr. Otaviano Francisco Neves – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
Dr. Luiz Cláudio de Lima – Universidade FUMEC
Dr. Nelson Ferreira Filho – Faculdades Kennedy
Msc. Valdiney Alves de Oliveira – Universidade Federal de Uberlândia

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

S964
Sustentabilidade, Meio Ambiente e Responsabilidade Social: Artigos Selecionados – Volume2/ Organização: José Henrique Porto Silveira - Belo Horizonte - MG: Editora Poisson, 2024

Formato: PDF
ISBN: 978-65-5866-391-1
DOI: 10.36229/978-65-5866-391-1

Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia

1. Meio ambiente 2. Sustentabilidade. 3. Responsabilidade Social I. SILVEIRA, José Henrique Porto II. Título

CDD-333.72

Sônia Márcia Soares de Moura – CRB 6/1896

O conteúdo deste livro está licenciado sob a Licença de Atribuição Creative Commons 4.0.
Com ela é permitido compartilhar o livro, devendo ser dado o devido crédito, não podendo ser utilizado para fins comerciais e nem ser alterada.

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos seus respectivos autores.

Esse e outros títulos podem ser baixados gratuitamente em www.poisson.com.br
Entre em contato pelo contato@poisson.com.br

SUMÁRIO

Capítulo 1: Bibliometric analysis on sustainability: a perspective for the preservation of the planet 06

Rafaela Simões Espirito Viana, Nilo Antônio de Souza Sampaio, Carin von Mühlen, José Salvador da Motta Reis, Ricardo Pereira Abraão, Emília Maciel da Cunha

DOI: 10.36229/978-65-5866-391-1.CAP.01

Capítulo 2: Educação ambiental lúdica com crianças especiais em atendimento no Centro de Atenção Psicossocial Infantil "O Equilibrista" 21

Tainar Gavião Leal, Suzimary Specht, Cíntia Camilo Mincolla

DOI: 10.36229/978-65-5866-391-1.CAP.02

Capítulo 3: Educação Ambiental para aprendizagem sobre resíduos e rejeitos pela perspectiva da Agenda 2030 33

Lauren de Arrial Lovato, Nubia de Fatima Zambrano Oliveira, Etiele Laia Zang, Suzimary Specht

DOI: 10.36229/978-65-5866-391-1.CAP.03

Capítulo 4: Desafios do descarte de resíduos sólidos: uma análise das políticas públicas e coleta seletiva da cidade de Maringá-PR 42

Lúcio Paulo Alves Pires, Juliana Saguia de Freitas, Hadassa de Almeida Siqueira Caetano

DOI: 10.36229/978-65-5866-391-1.CAP.04

Capítulo 5: Um estudo sobre as relações de pertencimento entre os moradores do entorno e a Área de Proteção Ambiental do Itapiracó, Maranhão, Brasil 58

Jéssica Cristine Costa Carvalho, Carlos Erick Brito de Sousa

DOI: 10.36229/978-65-5866-391-1.CAP.05

Capítulo 6: Salas de aula sem paredes: canteiros inspirados na agrofloresta como recurso pedagógico 67

Gisele Pereira de Castro, Graziélli Teixeira da Rocha Santos, Lauren Patrícia de Barros Cursino, Marcos Vinícius Ferraz Mayela Querido, Ruama Lorena Ferraz Ramos

DOI: 10.36229/978-65-5866-391-1.CAP.06

Capítulo 7: Diagnóstico de esgotamento sanitário em comunidade rural, no município de Iguatu-CE 76

Luiz Romário Uchôa

DOI: 10.36229/978-65-5866-391-1.CAP.07

SUMÁRIO

Capítulo 8: Gerenciamento operacional da Estação de Tratamento de Esgoto do município de Tacaimbó – PE 104

Marcella Vianna Cabral Paiva, Silvanete Severino da Silva, Luára dos Santos Soares, Silvia Mariana da Silva Barbosa, Elisabeth Laura Alves de Lima

DOI: 10.36229/978-65-5866-391-1.CAP.08

Capítulo 9: Perspectivas sobre pagamento por serviços ambientais hídricos: o caso do programa "Preservando o Futuro" em Piracicaba 116

Barbara Rentes Barbosa, Daniel Fadel Júnior, Zenilda Ledo dos Santos, Juliana Angelo, Kaline de Mello, Roberta Averna Valente

DOI: 10.36229/978-65-5866-391-1.CAP.09

Capítulo 10: Impactos dos diferentes usos do solo na qualidade da água em microbacias 130

Mariana Beraldi Rigonato, Kaline de Mello, Ricardo Hideo Taniwaki, Roberta Averna Valente

DOI: 10.36229/978-65-5866-391-1.CAP.10

Capítulo 11: Estudo da fragilidade potencial na Bacia do Rio Verdinho (Goiás), bioma Cerrado 145

Wellmo dos Santos Alves, Alécio Perini Martins, Nicoly Girotto Morais, Wilker Alves Morais, Évelyn Márcia Pôssa, Derick Martins Borges de Moura

DOI: 10.36229/978-65-5866-391-1.CAP.11

Capítulo 12: Cálculo de volume em floresta de eucalipto no município de Botucatu/SP por sensoriamento remoto 163

Bruna Soares Xavier de Barros, Zacarias Xavier de Barros, Ronaldo Alberto Pollo

DOI: 10.36229/978-65-5866-391-1.CAP.12

Capítulo 13: Produção de membranas cerâmicas de baixo custo utilizando caulim e cinzas do bagaço de cana de açúcar 174

Francimarcio Geraldo da Silva Gambarra, Genaro Zenaide Clericuzi, Antusia dos Santos Barbosa, Tatiane Maria do Nascimento, Wemilly Lucena Silva, Anna Laura Mendonça da Trindade Silva, Ana Vitória Santos Marques, Meiry Gláucia Freire Rodrigues

DOI: 10.36229/978-65-5866-391-1.CAP.13

Capítulo 14: Responsabilidade civil do empregador pela morte do empregado por intoxicação crônica devido à exposição química a organoclorados (poluentes orgânicos persistentes) 187

Paulo José Ferraz de Arruda Júnior

DOI: 10.36229/978-65-5866-391-1.CAP.14

Autores 201

Capítulo 1

Bibliometric analysis on sustainability: a perspective for the preservation of the planet

Rafaela Simões Espirito Viana
Nilo Antônio de Souza Sampaio
Carin von Mühlen
José Salvador da Motta Reis
Ricardo Pereira Abraão
Emília Maciel da Cunha

Abstract: **Objective**: This study aims to identify and analyze scientific gaps in the bibliometric study on sustainability, mapping the most relevant countries, journals and authors in this area of research.

Theoretical framework: Sustainability is a transformation based on the union of the three pillars: social, economic and environmental so as not to disturb the ecosystem in the future. This change works in the long term, in conjunction with bodies, companies and society. The use of sustainability is essential for human health and the preservation of nature.

Method: An exploratory bibliometric analysis of a quantitative and qualitative nature was carried out to identify and analyze the countries, journals and scientific gaps of the 30 most cited articles in the Scopus database.

Results and Conclusions: The results showed that China, the Russian Federation, the United Kingdom and the United States are the most cited countries in scientific articles on the subject, but the largest number of publications is in China, in first place, followed by the United Kingdom and Italy. Several journals have presented the topic, but the 10 most cited articles on Scopus show sustainability from a more current perspective that encompasses the SDGs, the circular economy, industry 4.0 and co-production for sustainability

Research implications: It is necessary to understand the gaps in sustainability research in order to guide both scientific efforts and public policies aimed at combating the world's environmental problem. This research can inform strategies to improve sustainability and the preservation of nature.

Originality/value: Bibliometric research on the topic of sustainability contributes by showing that the number of publications on the subject has increased significantly in the last four years, reflecting the growing interdisciplinary interest in dealing with the complex challenges related to this vital resource.

Keywords: Sustainability, Preservation, Bibliometric analysis, Scopus, Future research.

1. INTRODUCTION

The world is heading for population overcrowding in the future and with this increase in people, the use of natural resources that are essential for humanity is also growing, causing these resources to become increasingly scarce and shortly to become scarce if individuals do not use sustainability in their daily lives. Based on this, it is necessary to analyze research in the area of sustainability in recent years to provide solutions for implementing clean energy projects and other environmentally friendly solutions (Hong & Chen, 2017; Rockström et al., 2017; Sheldon, 2016).

First of all, it should be noted that sustainability is the main theme of the Brock Report, which is defined as a combination of good environmental, social and governance practices with sustainability and is established in 5 pillars, which are sustainability, innovation, diversity and inclusion, volunteering and excellence. This presentation takes into account the United Nations' 2030 Agenda and the 17 Sustainable Development Goals (SDGs), stipulating which of them are in practice. This report aims to help corporations begin the transition to practices aimed at a new future of transformation in the post-pandemic period (Bai et al., 2020; Bryan et al., 2018; Reis et al., 2021).

It can also be seen that sustainability is based on three pillars: economic, social and environmental, and based on this, the concept of the Sustainability Tripod was created in 1994, to make industries more sustainable. This is made up of the projection of the future of planet Earth, people and profit, in other words, the institution must be run with a view to the economic part, its environmental impacts and its relationship with its employees, all in balance. This concept brings benefits to the environment and to organizations (Geissdoerfer et al., 2017; Pieroni et al., 2019; Purvis, 2018). In this context, it can be seen that sustainability is necessary to improve human health and reduce environmental damage, so the following question arises: How is academic society geared towards global sustainable development? To answer this question, this research aimed to carry out a bibliometric analysis to identify the most cited countries and journals to identify and analyze the scientific gaps of the 30 most cited articles in the Scopus database to map future research trends on the subject.

2. THEORETICAL BACKGROUND

Sustainability is a transformation based on bringing together the three pillars: social, economic and environmental so that it doesn't disrupt the ecosystem in the future. The social pillar is what takes care of the human, i.e. the relationship between people and between society, because it needs to improve the quality of life through transformation, as well as parity of participation, recognition and redistribution to see which parties are doing more and which are not cooperating are also functions of this pillar (Amui et al., 2017; Purvis, 2018; Reis et al., 2022). The economic pillar is the one that deals with the cooperation of companies and bodies, costs, profits and productivity in a healthy way so as not to disrupt the other pillars. The environmental pillar is concerned with the environment, i.e. fauna, flora and climate change and their degradation over the years as well as their regeneration after transformation (Bonilla et al., 2018; Eizenberg & Jabareen, 2017; Rajeev et al., 2017).

Sustainability works through environmental, social and economic actions together. It usually works in the long term, jointly, i.e. with agencies, companies and society working together so that the environment is less degraded in the future, avoiding its depletion. It

can be improved by combining indigenous knowledge, since they are more involved with nature, preserving it and using it more naturally, with science, which expands innovations in this area (de Souza Freire et al., 2022; Hill et al., 2017; Olawumi & Chan, 2018; Rezende, 2016). Sustainability serves to guarantee the availability of natural resources for future generations and avoids environmental disaster over the years. The advantages of sustainability are innumerable, such as: improving the world, in other words, improving the quality of life, because with the social pillar, by applying sustainability, society has to benefit by improving people's daily lives. An example of this is opting for bicycles or public transport, taking turns instead of the car, improving the elimination of pollutants in the air and consequently the individual's breathing (Geissdoerfer et al., 2017; Narazaki et al., 2018; Tridello et al., 2023).

Another advantage is the reduction of environmental disasters and the preservation of the environment and natural resources since the concept of sustainability means that the ecosystem cannot be disturbed for future generations, thus avoiding the depletion of the environmental system that is applied in the environmental pillar of sustainability, such as the recycling of waste, which when recycled prevents it from remaining in dumps, releasing methane gas that pollutes the air and increases the greenhouse effect, thus disturbing the environment in the future as well, making industries produce more and more green chemistry products, such as biodegradable polymers, as well as agriculture, which, by intensifying sustainably, reduces environmental damage, increasing production and consequently reducing hunger and serving a large part of the population without harming the future (Hong & Chen, 2017; Rockström et al., 2017; Sheldon, 2016). In the economic sphere, there is an increase in profits and market value for companies that are applying sustainability, because by practicing it, companies become more competitive in the market and have more respect and value in society. An example of this is a company that uses water and products sustainably, avoiding waste and consequently avoiding a shortage of fresh water or polluting the environment in the case of products for future generations. (Hussain et al., 2018; Pieroni et al., 2019).

Other advantages are that countries that apply sustainability achieve the 17 sustainable development goals defined in the 2030 Agenda launched by the UN: reducing hunger, and poverty, improving quality of life, clean water and sanitation, clean and affordable energy, quality education, gender equality, employment and economic growth, industry and innovation and infrastructure, reducing inequalities, more sustainable cities, responsible consumption and production, improving global climate change, improving life on land and water, provoking partnerships and means of implementation are some of the advantages of practicing sustainability. An example of a country that is evolving in this transition to sustainability and is improving these 17 points is China, which is investing in this area (Bai et al., 2020; Bryan et al., 2018; Reis et al., 2021).

The advantages for companies that improve the application of sustainability start with changing the surrounding region and the company itself with innovations that benefit everyone by improving the quality of life, for example by applying waste disposal in a way that doesn't pollute river water, using innovations to help with the basic sanitation of the surrounding region and that of the company itself. (Elmqvist et al., 2019; Evans et al., 2017).

There are a several challenges to sustainability, such as the fact that individuals, companies and societies are often only concerned with their generation, with a moment in time and with comfort, and don't think about the future, avoiding sustainable practices. This is because the majority of sustainable actions have long-term results. Sustainable

products are also more expensive than normal ones, which means that a large part of the population can't afford them, opting instead to buy non-sustainable products. What's more, sustainable interventions that are easier to carry out often don't have much potential for transformative change. This can be solved by focusing on less obvious and more transformative areas since the world has technology and research areas to apply to sustainability (Abson et al., 2017; Geissdoerfer et al., 2017; Purvis, 2018).

3. MATERIALS AND METHODS

Scientific research can be classified according to its nature, approach, objectives and procedures (Kothari & Garg, 2019). Chart 1 highlights the classifications of this research. This work was carried out using applied research, with an exploratory and descriptive objective and a qualitative approach based on bibliometric analysis and content analysis. Definitions and the main features of these elements (nature, objective, approach and research procedures) will be presented to justify their choice.

Table 1 - Research classification

TYPE	OBJECTIVE	APPROACH	RESEARCH PROCEDURES
BASIC	EXPLORATORY	QUANTITATIVE	EXPERIMENT
APPLIED	DESCRIPTIVE	QUALITATIVE	SURVEY
	EXPLANATORY	**COMBINED**	**INTEGRATIVE REVIEW**
	NORMATIVE		BIBLIOMETRIC ANALYSIS
			MODELING

Source: Adapted from Cronin e George (2023), Kothari e Garg (2019) e Reis et al. (2021).

The nature of the work is applied, because its propositions apply to a given reality. As for the research objectives, they will be exploratory and descriptive, because they delve into the elements of the research and at the same time observe, analyze, classify and interpret the data without interference from the researcher (Kothari & Garg, 2019; Miguel, 2018). This research is classified as qualitative and quantitative, since its main objective is to understand, interpret and describe the phenomenon observed, using the natural environment as a direct source for data collection. It is up to the researcher to be the main vehicle for conducting its application (Kothari & Garg, 2019; Yin, 2017).

A bibliometric analysis is of paramount importance for a study on sustainability, as it offers a systematic and comprehensive approach to examining scientific production and the main themes related to the topic in question. Through bibliometric analysis, it is possible to identify the main sources of research, the most relevant authors and the most frequent publication vehicles, as well as mapping the temporal evolution of publications on the subject.

4. RESULTS AND DISCUSSION

The clusters identified through bibliometric analysis were grouped into 6 groups (Table 2). They were grouped according to the similarity of the 30 scientific gaps identified in the light of the theory.

Table 2 – Clusters of the 30 scientific gaps on Sustainability

#	Research opportunities	Authors
1	Development of intelligent organizational structures, geared to the new technologies of the Fourth Industrial Revolution	Bai et al. (2020); Haseeb et al. (2019); Machado et al.(2020); Manavalan & Jayakrishna (2019); Purvis(2018); Saberi et al (2019); Yadav et al. (2020)
2	Proposing the use of new technologies to reduce pollution and greenhouse gas emissions	Bekun et al.(2019); Bogdanov et al.(2019); Dubey et al.(2019); Kuang et al.(2019); Liao et al.(2020); Qazi et al.(2019); Umar et al.(2020)
3	Mapping the economic, environmental and social benefits of targeting the 17 SDGs	Hall(2019); Sachs et al.(2019); Schroeder et al., (2019)
4	Analyze how industries can be more sustainable through joint and individual measures	Ivanov(2022); Kouhizadeh et al.)(2021); Memari et al.(2019); Stević et al.(2020)
5	Mapping the use of sustainability with increased urbanization, as well as the consequences of this process	Ahmed et al.(2020); Elmqvist et al.(2019)
6	Analyze the transition to sustainability in different fields and countries	Kivimaa et al.(2019); Köhler et al. (2019); Liang et al.(2019); Mensah(2019); Norström et al. (2020); Roscoe et al.(2019); White et al.(2019).

Source: Authors (2023).

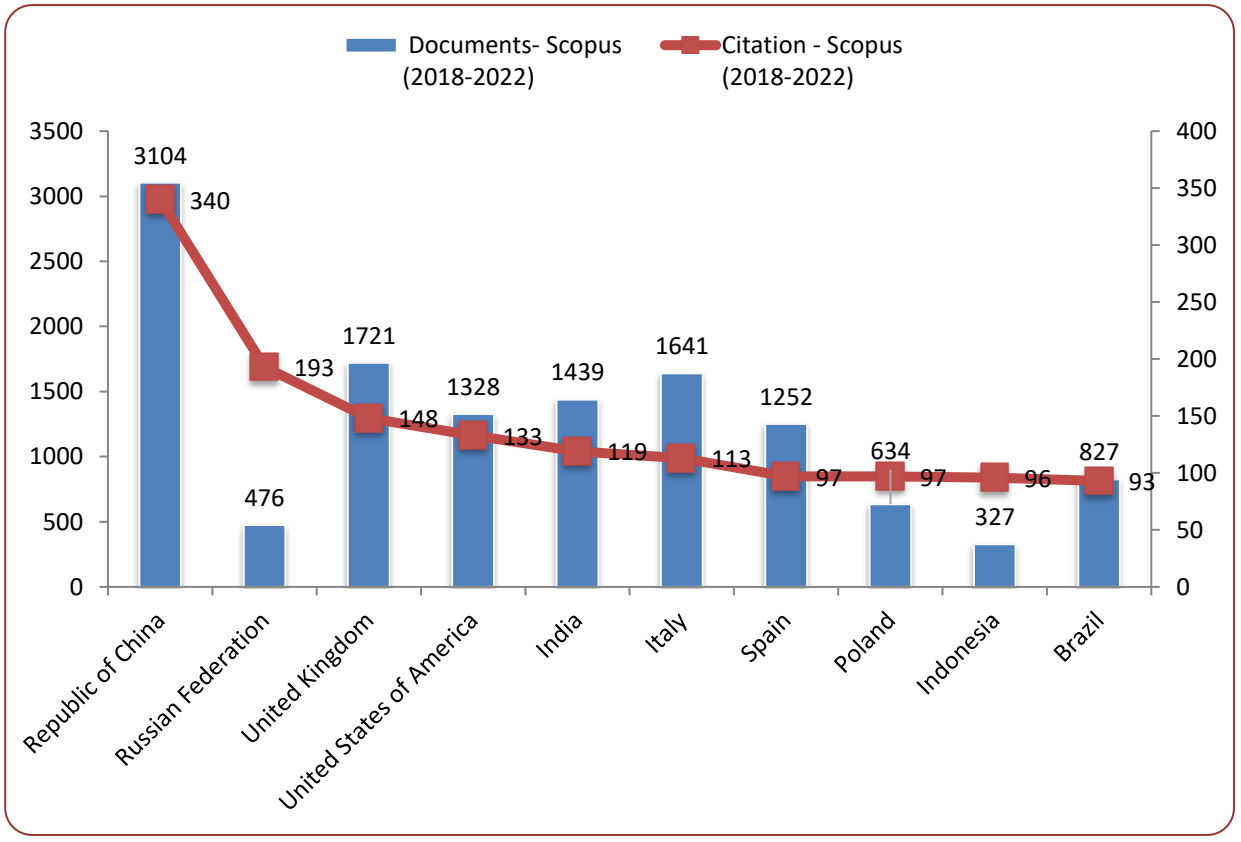
In the opportunity group entitled "Development of intelligent organizational structures geared towards the new technologies of the Fourth Industrial Revolution", opportunities should be sought to integrate Sustainability with Industry 4.0 to improve quality and reduce environmental impacts, covering the G20 countries, such as the use of statistical tools for the development of I4.0 research. In the group of opportunities "Proposing the use of new technologies to reduce pollution and greenhouse gas emissions", research should be carried out to increase the use of clean and sustainable energy within industries and improve economic development without affecting the environmental and social spheres of sustainability to reduce environmental impacts such as pollution and gas emissions into the atmosphere.

In the opportunity group "Mapping the economic, environmental and social benefits of targeting the 17 SDGs", research should be carried out to analyze how the 17 SDGs can be applied to countries with different cultures and development and in various everyday activities with different realities, improving sustainable development in all three spheres. In the group of opportunities "Analyzing how industries can be more sustainable through joint and individual measures", research should be carried out into how the methods presented (MARCOS, Fuzzy TOPSIS) can help in the choice of a supplier and products in the industry, benefiting the individual through individual and collective actions, as well as how the adoption of "Blockchain" and the efficiency of sustainable supply chains can work together.

Under the heading "Mapping the use of sustainability with increased urbanization, as well as the consequences of this process", research should be carried out to analyse how to reduce the impacts of increased urbanization on sustainability, since urbanization generates major environmental impacts such as deforestation, reduction of flora and fauna, atmospheric and water pollution. In emerging countries, for example, the process of slumification is great due to rapid urbanization, causing damage to the environment and impacting on the social and economic spheres, and this approach would help to improve sustainability. Finally, under the heading "Analyzing the transition to

sustainability in different fields and countries", an analysis should be made of how the adoption of sustainable measures already used in other fields and countries can be modified in order to adapt them to the reality of these countries, improving the framework of the three pillars of sustainability.

Figure 1 - Countries with the most publications on sustainability

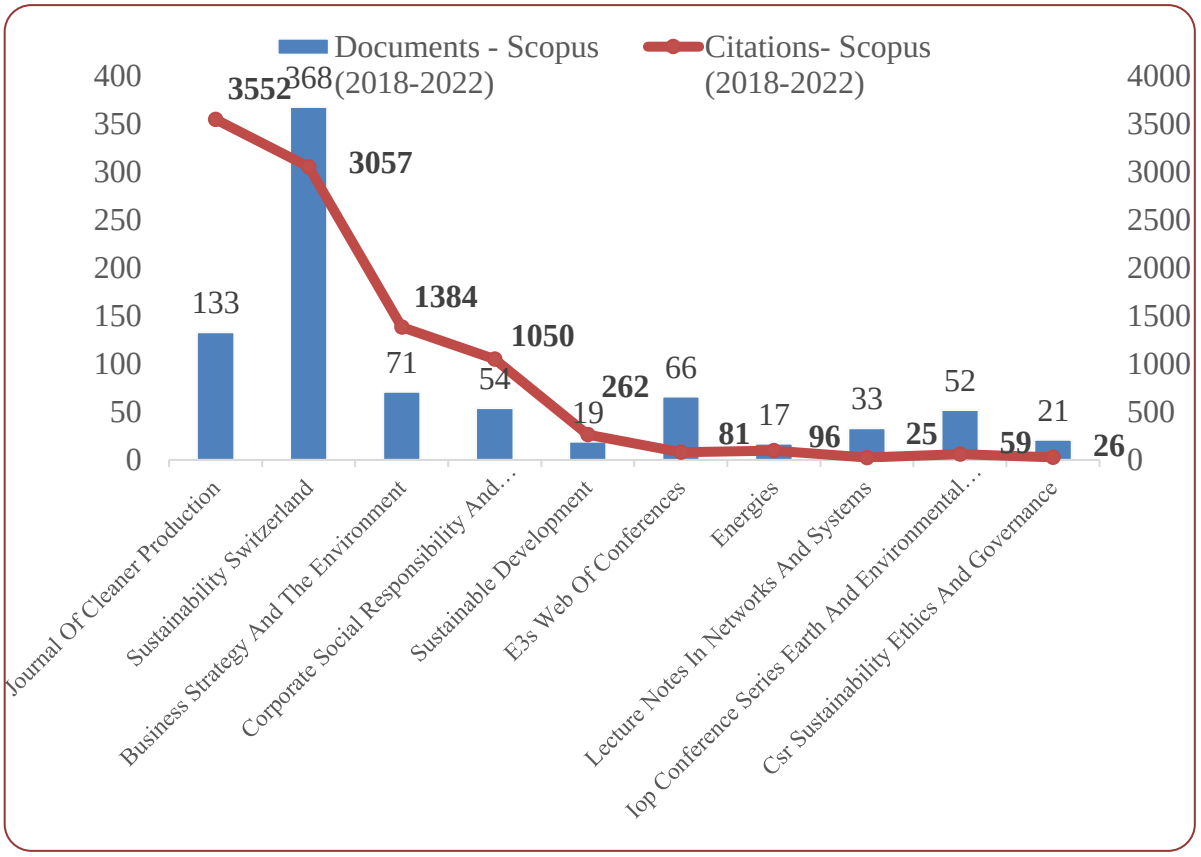


Source: Authors (2023).

Figure 1 shows the bibliometric performance of some of the countries that stood out on the subject of sustainability from 2018 to 2022. The table in Appendix B shows the ten countries with the highest number of citations of publications, with China (340), the Russian Federation (193), the United Kingdom (148) and the United States (133) standing out, but if you look at the graph, the highest number of publications are in China first, followed by the United Kingdom and Italy.

Following the analysis, it can be seen that of the ten countries with the best performance in terms of number of citations, 4 are from the Asian continent, 4 are from Europe and 2 are from America, 1 from the South and the other from the North. China stands out not only in terms of the number of citations and the H-Index, but also in terms of the number of publications, leading the table and the graph. In second place is the Russian Federation which, despite having few publications (476) and a low H-Index (11), as can be seen in Appendix B, compared to the other members, has the second highest number of citations (193). In third place is the United Kingdom with the second-highest H-Index and number of published papers but with fewer citations than the previous member.

Figure 2 - Scientific journals that have published the most articles on sustainability



Source: Authors (2023).

Figure 2 shows the bibliometric performance of the ten journals that stood out on the subject of sustainability from 2018 to 2022. The graph shows the ten journals with the highest number of citations of publications, with the "Journal of Cleaner Production" (3552), "Sustainability" (3057), "Business Strategy and Environment" (1384) and "Corporate Social Responsibility and Environment Management" (1050) standing out. The others have fewer than 300 publications, but if you look at the graph, the highest number of publications are in the second journal and not the first with more than 300 citations, while the others have half as many publications.

The top 10 most cited articles from Scopus, which are presented in Appendix B, show sustainability in a more current light that encompasses the SDGs, which are the 17 UN goals for sustainable development, and the circular economy, in which instead of disposing of waste at the end of production, recycling is proposed, generating less waste, identifying the extent to which the practices of this type of economy are relevant to the implementation of the SDGs (Liao et al., 2020; Sachs et al., 2019; Schroeder et al., 2019).

In addition, most of the journals mention Industry 4.0, in which the use of technology in industry reduces environmental impacts, improves the economy, requires less physical effort and more training for workers, in other words, it adjusts the 3 pillars of sustainability by analyzing how they can be used in the present and for the future, another topic covered by the first 10 articles (Köhler et al., 2019; Kouhizadeh et al., 2021; Purvis, 2018).

Finally, the journals that published the top 10 articles in Scopus propose a co-production for sustainability with the participation of individuals, universities and government policies, to expand scientific research, form individual habits and more sustainable industries in order to improve the 3 pillars for the benefit of society (Bekun et al., 2019; Norström et al., 2020; White et al., 2019).

5. CONCLUSION

This research achieved the objective of carrying out a bibliometric analysis of the topic of sustainability in the Scopus database. The results revealed that the number of publications on the topic has increased significantly over the last 4 years, reflecting the rise in interdisciplinary interest in addressing the complex challenges related to this vital resource.

The 10 most cited Scopus articles on Sustainability covered a wide range of topics, including:

- SDGs and Circular Economy: Sustainability from a more current perspective that encompasses the SDGs, which are the 17 United Nations goals for sustainable development, and the circular economy, in which instead of eliminating waste at the end of production, recycling is proposed, generating less waste, identifying the extent to which the practices of this type of economy are relevant to the implementation of the SDGs.
- Industry 4.0 : It shows that Industry 4.0, in which the use of technology in industry reduces environmental impacts, improves the economy, requires less physical effort and more training for workers, in other words, adjusts the 3 pillars of sustainability, analyzing how they can be used in the present and in the future, another topic covered in the first 10 articles.
- Co-production for sustainability: Co-production for sustainability with the participation of individuals, universities and government policies, expanding scientific research, forming individual habits and more sustainable industries, in order to improve the 3 pillars for the benefit of society.

The results of the bibliometric analysis also revealed that China, the United Kingdom and Italy are the main centers of sustainability research. This can be attributed to the availability of financial and human resources, as well as a strong commitment to protecting the environment.

As research continues to expand, global collaboration and the application of innovative approaches remain key to overcoming future challenges related to Sustainability. It is important that researchers from different disciplines and countries work together to develop sustainable solutions for sustainability management.

REFERENCES

[1] Abson, D. J., Fischer, J., Leventon, J., Newig, J., Schomerus, T., Vilsmaier, U., von Wehrden, H., Abernethy, P., Ives, C. D., Jager, N. W., & Lang, D. J. (2017). Leverage points for sustainability transformation. *Ambio*, *46*(1), 30–39. https://doi.org/10.1007/s13280-016-0800-y

[2] Ahmed, Z., Asghar, M. M., Malik, M. N., & Nawaz, K. (2020). Moving towards a sustainable environment: The dynamic linkage between natural resources, human capital, urbanization, economic growth, and ecological footprint in China. *Resources Policy*, *67*(April), 101677.

https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2020.101677

[3] Amui, L. B. L., Jabbour, C. J. C., de Sousa Jabbour, A. B. L., & Kannan, D. (2017). Sustainability as a dynamic organizational capability: a systematic review and a future agenda toward a sustainable transition. *Journal of Cleaner Production*, *142*, 308–322. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.103

[4] Bai, C., Dallasega, P., Orzes, G., & Sarkis, J. (2020). Industry 4.0 technologies assessment: A sustainability perspective. *International Journal of Production Economics*, *229*, 107776. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107776

[5] Bekun, F. V., Alola, A. A., & Sarkodie, S. A. (2019). Toward a sustainable environment: Nexus between CO2 emissions, resource rent, renewable and nonrenewable energy in 16-EU countries. *Science of the Total Environment*, *657*, 1023–1029. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.104

[6] Bogdanov, D., Farfan, J., Sadovskaia, K., Aghahosseini, A., Child, M., Gulagi, A., Oyewo, A. S., de Souza Noel Simas Barbosa, L., & Breyer, C. (2019). Radical transformation pathway towards sustainable electricity via evolutionary steps. *Nature Communications*, *10*(1), 1–16. https://doi.org/10.1038/s41467-019-08855-1

[7] Bonilla, S. H., Silva, H. R. O., da Silva, M. T., Gonçalves, R. F., & Sacomano, J. B. (2018). Industry 4.0 and sustainability implications: A scenario-based analysis of the impacts and challenges. *Sustainability (Switzerland)*, *10*(10). https://doi.org/10.3390/su10103740

[8] Bryan, B. A., Gao, L., Ye, Y., Sun, X., Connor, J. D., Crossman, N. D., Stafford-Smith, M., Wu, J., He, C., Yu, D., Liu, Z., Li, A., Huang, Q., Ren, H., Deng, X., Zheng, H., Niu, J., Han, G., & Hou, X. (2018). China's response to a national land-system sustainability emergency /704/844/685 /704/172/4081 perspective. *Nature*, *559*(7713), 193–204. https://doi.org/10.1038/s41586-018-0280-2

[9] Cronin, M. A., & George, E. (2023). The Why and How of the Integrative Review. *Organizational Research Methods*, *26*(1), 168–192. https://doi.org/10.1177/1094428120935507

[10] de Souza Freire, F., de Oliveira, L. G., Junior, A. N., da Silva, N. O., & Crispim, F. P. (2022). Smart City: a diagnosis of the economic aspects and productive force of the Federal District. *Revista de Gestao Ambiental e Sustentabilidade*, *11*(1), 1–30. https://doi.org/10.5585/geas.v11i1.20383

[11] Dubey, R., Gunasekaran, A., Childe, S. J., Papadopoulos, T., Luo, Z., Wamba, S. F., & Roubaud, D. (2019). Can big data and predictive analytics improve social and environmental sustainability? *Technological Forecasting and Social Change*, *144*(April), 534–545. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.06.020

[12] Eizenberg, E., & Jabareen, Y. (2017). Social sustainability: A new conceptual framework. *Sustainability (Switzerland)*, *9*(1). https://doi.org/10.3390/su9010068

[13] Elmqvist, T., Andersson, E., Frantzeskaki, N., McPhearson, T., Olsson, P., Gaffney, O., Takeuchi, K., & Folke, C. (2019). Sustainability and resilience for transformation in the urban century. *Nature Sustainability*, *2*(4), 267–273. https://doi.org/10.1038/s41893-019-0250-1

[14] Evans, S., Vladimirova, D., Holgado, M., Van Fossen, K., Yang, M., Silva, E. A., & Barlow, C. Y. (2017). Business Model Innovation for Sustainability: Towards a Unified Perspective for Creation of Sustainable Business Models. *Business Strategy and the Environment*, *26*(5), 597–608. https://doi.org/10.1002/bse.1939

[15] Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M. P., & Hultink, E. J. (2017). The Circular Economy – A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*, *143*, 757–768. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048

[16] Hall, C. M. (2019). Constructing sustainable tourism development: The 2030 agenda and the managerial ecology of sustainable tourism. *Journal of Sustainable Tourism*, *27*(7), 1044–1060. https://doi.org/10.1080/09669582.2018.1560456

[17] Haseeb, M., Hussain, H. I., Ślusarczyk, B., & Jermsittiparsert, K. (2019). Industry 4.0: A solution towards technology challenges of sustainable business performance. *Social Sciences*, *8*(5). https://doi.org/10.3390/socsci8050154

[18] Hill, R., Malmer, P., Tengo, M., Raymond, C. M., Spierenburg, M., Danielsen, F., Elmqvist, T., & Folke, C. (2017). ScienceDirect Weaving knowledge systems in IPBES , CBD and beyond — lessons learned for sustainability. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, *26–27*, 17–25.

https://doi.org/10.1016/j.cosust.2016.12.005

[19] Hong, M., & Chen, E. Y. X. (2017). Chemically recyclable polymers: A circular economy approach to sustainability. *Green Chemistry*, *19*(16), 3692–3706. https://doi.org/10.1039/c7gc01496a

[20] Hussain, N., Rigoni, U., & Orij, R. P. (2018). Corporate Governance and Sustainability Performance: Analysis of Triple Bottom Line Performance. *Journal of Business Ethics*, *149*(2), 411–432. https://doi.org/10.1007/s10551-016-3099-5

[21] Ivanov, D. (2022). Viable supply chain model: integrating agility, resilience and sustainability perspectives—lessons from and thinking beyond the COVID-19 pandemic. *Annals of Operations Research*, *319*(1), 1411–1431. https://doi.org/10.1007/s10479-020-03640-6

[22] Kivimaa, P., Boon, W., Hyysalo, S., & Klerkx, L. (2019). Towards a typology of intermediaries in sustainability transitions: A systematic review and a research agenda. *Research Policy*, *48*(4), 1062–1075. https://doi.org/10.1016/j.respol.2018.10.006

[23] Köhler, J., Geels, F. W., Kern, F., Markard, J., Onsongo, E., Wieczorek, A., Alkemade, F., Avelino, F., Bergek, A., Boons, F., Fünfschilling, L., Hess, D., Holtz, G., Hyysalo, S., Jenkins, K., Kivimaa, P., Martiskainen, M., McMeekin, A., Mühlemeier, M. S., … Wells, P. (2019). An agenda for sustainability transitions research: State of the art and future directions. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, *31*(January), 1–32. https://doi.org/10.1016/j.eist.2019.01.004

[24] Kothari, C. R., & Garg, G. (2019). Research methodology methods and techniques. In *New Age International* (4º). New Age International.

[25] Kouhizadeh, M., Saberi, S., & Sarkis, J. (2021). Blockchain technology and the sustainable supply chain: Theoretically exploring adoption barriers. *International Journal of Production Economics*, *231*, 107831. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107831

[26] Kuang, Y., Kenney, M. J., Meng, Y., Hung, W. H., Liu, Y., Huang, J. E., Prasanna, R., Li, P., Li, Y., Wang, L., Lin, M. C., McGehee, M. D., Sun, X., & Dai, H. (2019). Solar-driven, highly sustained splitting of seawater into hydrogen and oxygen fuels. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *116*(14), 6624–6629. https://doi.org/10.1073/pnas.1900556116

[27] Liang, Y., Zhao, X., Hu, T., Chen, B., Yin, Z., Ma, P. X., & Guo, B. (2019). Adhesive Hemostatic Conducting Injectable Composite Hydrogels with Sustained Drug Release and Photothermal Antibacterial Activity to Promote Full-Thickness Skin Regeneration During Wound Healing. *Small*, *15*(12), 1–17. https://doi.org/10.1002/smll.201900046

[28] Liao, Y., Koelewijn, S. F., van den Bossche, G., van Aelst, J., van den Bosch, S., Renders, T., Navare, K., Nicolaï, T., van Aelst, K., Maesen, M., Matsushima, H., Thevelein, J. M., van Acker, K., Lagrain, B., Verboekend, D., & Sels, B. F. (2020). A sustainable wood biorefinery for low-carbon footprint chemicals production. *Science*, *367*(6484), 1385–1390. https://doi.org/10.1126/science.aau1567

[29] Machado, C. G., Winroth, M. P., & Ribeiro da Silva, E. H. D. (2020). Sustainable manufacturing in Industry 4.0: an emerging research agenda. *International Journal of Production Research*, *58*(5), 1462–1484. https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1652777

[30] Manavalan, E., & Jayakrishna, K. (2019). A review of Internet of Things (IoT) embedded sustainable supply chain for industry 4.0 requirements. *Computers and Industrial Engineering*, *127*, 925–953. https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.11.030

[31] Memari, A., Dargi, A., Akbari Jokar, M. R., Ahmad, R., & Abdul Rahim, A. R. (2019). Sustainable supplier selection: A multi-criteria intuitionistic fuzzy TOPSIS method. *Journal of Manufacturing Systems*, *50*(November 2018), 9–24. https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2018.11.002

[32] Mensah, J. (2019). Sustainable development: Meaning, history, principles, pillars, and implications for human action: Literature review. *Cogent Social Sciences*, *5*(1), 1–21. https://doi.org/10.1080/23311886.2019.1653531

[33] Miguel, P. A. C. (2018). Metodologia de pesquisa para engenharia de produção e gestão de operações. In Intergovernmental Panel on Climate Change (Ed.), *Elsevier* (3º). Elsevier.

[34] Narazaki, R. Y., Ruiz, M. S., Kniess, C. T., & Pedron, C. D. (2018). Towards Sustainability Through Incremental Innovation of a Low Cost Product: The Nespresso Case. *Revista de Gestão e Secretariado*, *9*(2), 01–19. https://doi.org/10.7769/gesec.v9i2.789

[35] Norström, A. V., Cvitanovic, C., Löf, M. F., West, S., Wyborn, C., Balvanera, P., Bednarek, A. T., Bennett, E. M., Biggs, R., de Bremond, A., Campbell, B. M., Canadell, J. G., Carpenter, S. R., Folke, C., Fulton, E. A., Gaffney, O., Gelcich, S., Jouffray, J. B., Leach, M., … Österblom, H. (2020). Principles for knowledge co-production in sustainability research. *Nature Sustainability*, *3*(3), 182–190. https://doi.org/10.1038/s41893-019-0448-2

[36] Olawumi, T. O., & Chan, D. W. M. (2018). A scientometric review of global research on sustainability and sustainable development. *Journal of Cleaner Production*, *183*, 231–250. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.162

[37] Pieroni, M. P. P., Mcaloone, T. C., & Pigosso, D. C. A. (2019). Business model innovation for circular economy and sustainability : A review of approaches. *Journal of Cleaner Production*, *215*, 198–216. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.036

[38] Purvis, B. (2018). Three pillars of sustainability : in search of conceptual origins. *Sustainability Science*, *5*. https://doi.org/10.1007/s11625-018-0627-5

[39] Qazi, A., Hussain, F., Rahim, N. A. B. D., Hardaker, G., Alghazzawi, D., Shaban, K., & Haruna, K. (2019). Towards Sustainable Energy: A Systematic Review of Renewable Energy Sources, Technologies, and Public Opinions. *IEEE Access*, *7*, 63837–63851. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2906402

[40] Rajeev, A., Pati, R. K., Padhi, S. S., & Govindan, K. (2017). Evolution of sustainability in supply chain management : A literature review. *Journal of Cleaner Production*, *162*, 299–314. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.05.026

[41] Reis, J. S. da M., Espuny, M., Cardoso, R. P., Sampaio, N. A. de S., Barros, J. G. M. De, Barbosa, L. C. F. M., & Oliveira, O. J. De. (2022). Mapping Sustainability 4.0: contributions and limits of the symbiosis. *Revista de Gestão e Secretariado*, *13*(3), 1426–1438. https://doi.org/10.7769/gesec.v13i3.1417

[42] Reis, J. S. da M., Espuny, M., Nunhes, T. V., Sampaio, N. A. de S., Isaksson, R., Campos, F. C. de, & Oliveira, O. J. de. (2021). Striding towards Sustainability: A Framework to Overcome Challenges and Explore Opportunities through Industry 4.0. *Sustainability*, *13*(9), 5232. https://doi.org/10.3390/su13095232

[43] Rezende, D. A. (2016). Digital City: Chicago and Schaumburg (USA) Information, Sustainability Indicators and Public Services Projects. *Revista de Gestão e Secretariado*, *7*(2), 55–79. https://doi.org/10.7769/gesec.v7i2.545

[44] Rockström, J., Williams, J., Daily, G., Noble, A., Matthews, N., Gordon, L., Wetterstrand, H., DeClerck, F., Shah, M., Steduto, P., de Fraiture, C., Hatibu, N., Unver, O., Bird, J., Sibanda, L., & Smith, J. (2017). Sustainable intensification of agriculture for human prosperity and global sustainability. *Ambio*, *46*(1), 4–17. https://doi.org/10.1007/s13280-016-0793-6

[45] Roscoe, S., Subramanian, N., Jabbour, C. J. C., & Chong, T. (2019). Green human resource management and the enablers of green organisational culture: Enhancing a firm's environmental performance for sustainable development. *Business Strategy and the Environment*, *28*(5), 737–749. https://doi.org/10.1002/bse.2277

[46] Saberi, S., Kouhizadeh, M., Sarkis, J., & Shen, L. (2019). Blockchain technology and its relationships to sustainable supply chain management. *International Journal of Production Research*, *57*(7), 2117–2135. https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1533261

[47] Sachs, J. D., Schmidt-Traub, G., Mazzucato, M., Messner, D., Nakicenovic, N., & Rockström, J. (2019). Six Transformations to achieve the Sustainable Development Goals. *Nature Sustainability*, *2*(9), 805–814. https://doi.org/10.1038/s41893-019-0352-9

[48] Schroeder, P., Anggraeni, K., & Weber, U. (2019). The Relevance of Circular Economy Practices to the Sustainable Development Goals. *Journal of Industrial Ecology*, *23*(1), 77–95. https://doi.org/10.1111/jiec.12732

[49] Sheldon, R. A. (2016). The E factor 25 years on: the rise of green chemistry and sustainability. *Green Chemistry*, *19*(1), 18–43. https://doi.org/10.1039/c6gc02157c

[50] Stević, Ž., Pamučar, D., Puška, A., & Chatterjee, P. (2020). Sustainable supplier selection in healthcare industries using a new MCDM method: Measurement of alternatives and ranking according to COmpromise solution (MARCOS). *Computers and Industrial Engineering*, *140*, 106231. https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.106231

[51] Tridello, V., De Andrade Spinola, C., Campelo, A., Pinheiro, T. C., & Eucker, D. (2023). a Good City for a Tourist Is a Good City for Its Inhabitant: Climate Change Adaptation for the Tourism Industry in Salvador Da Bahia. *Revista de Gestao Ambiental e Sustentabilidade*, *12*(2), 1–35. https://doi.org/10.5585/GEAS.V12I2.22625

[52] Umar, M., Ji, X., Kirikkaleli, D., & Xu, Q. (2020). COP21 Roadmap: Do innovation, financial development, and transportation infrastructure matter for environmental sustainability in China? *Journal of Environmental Management*, *271*(June), 111026. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111026

[53] White, K., Habib, R., & Hardisty, D. J. (2019). How to SHIFT consumer behaviors to be more sustainable: A literature review and guiding framework. *Journal of Marketing*, *83*(3), 22–49. https://doi.org/10.1177/0022242919825649

[54] Yadav, G., Luthra, S., Jakhar, S. K., Mangla, S. K., & Rai, D. P. (2020). A framework to overcome sustainable supply chain challenges through solution measures of industry 4.0 and circular economy: An automotive case. *Journal of Cleaner Production*, *254*, 120112. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120112

[55] Yin, R. K. (2017). Case study research: design and methods. In *SAGE Publications* (6º). SAGE Publications.

APÊNDICE A – TOP 30 ARTIGOS MAIS CITADOS

#	Título	Autores (Ano)	Fonte	Oportunidades	Total de citações (10/01/22)
1	Blockchain technology and its relationships to sustainable supply chain management	Saberi et al. (2019)	International Journal of Production Research	Identificar e descrever os benefícios da tecnologia IoT, Clouds e Big data para a gestão sustentável da cadeia de abastecimento	1105
2	An agenda for sustainability transitions research: State of the art and future directions	Köhler et al.(2019)	Environmental Innovation and Societal Transitions	Mapear as pesquisas existentes dos temas emergentes no campo das transições para a sustentabilidade	814
3	Three pillars of sustainability: in search of conceptual origins	Purvis (2018)	Sustainability Science	Identificar e analisar os impactos positivos e dissonância da indústria 4.0 no desenvolvimento sustentável S	694
4	Toward a sustainable environment: Nexus between CO2 emissions, resource rent, renewable and nonrenewable energy in 16-EU countries	Bekun et al.(2019)	Science of the Total Environment	Analisar as ações dos países do G20 para reduzir a poluição, aumentar o crescimento econômico e desenvolvimento da sustentabilidade	631
5	Adhesive Hemostatic Conducting Injectable Composite Hydrogels with Sustained Drug Release and Photothermal Antibacterial Activity to Promote Full-Thickness Skin Regeneration During Wound Healing	Liang et al.(2019)	Small	Identificar e descrever as qualidades e desvantagens dos condutores adesivos hidrogeis hemostáticos	622
6	Six Transformations to achieve the Sustainable Development Goals	Sachs et al., (2019)	Nature Sustainability	Identificar e descrever como os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e o Acordo de Paris podem ser operacionalizados fora dos paises do G20	530
7	How to SHIFT consumer behaviors to be more sustainable: A literature review and guiding framework	White et al.(2019)	Journal of Marketing	Identificar e analisar como a Influência social, a cultura da sociedade local pode influenciar positivamente ou negativamente para o desenvolvimento sustentável	460
8	The Relevance of Circular Economy Practices to the Sustainable Development Goals	Schroeder et al.(2019)	Journal of Industrial Ecology	Aprofundar as pesquisas para gerar mais evidências empíricas sobre a ligação entre a CE e os ODS, para ampliar e construir esta revisão exploratória	459
9	Principles for knowledge co-production in sustainability research	Norström et al.(2020)	Nature Sustainability	Mapear as pesquisas de sustententabilidade que aplicam a coprodução de conhencimentos	440
10	A sustainable wood biorefinery for low-carbon footprint chemicals production	Liao et al.(2020)	Science	Analisar o incentivo para produzir produtos químicos lucrativos, renováveis e com baixo impacto de carbono por meio do biorrefino holístico de madeira sustentável.	387
11	A review of Internet of Things (IoT) embedded sustainable supply chain for industry 4.0 requirements	Manavalan & Jayakrishna (2019)	Computers and Industrial Engineering	Implementar estratégias que ajude a desenvolver a sustentabilidade por meio das tecnologias da I4	380
12	Sustainable supplier selection in healthcare industries using a new MCDM method: Measurement of alternatives and ranking according to Compromise solution (MARCOS)	Stević et al.(2020)	Computers and Industrial Engineering	Propor uma nova alternativa de medição e classificação de acordo com o método Compromise Solution (MARCOS) para uma seleção sustentável de materia prima e produtos na indústria de saúde (em uma policlínica).	356
13	Moving towards a sustainable environment: The dynamic linkage between natural resources, human capital, urbanization, economic growth, and ecological footprint in China	Ahmed et al.(2020)	Resources Policy	Quantificar o indice de Carbon Footprint (CF) com o uso de recursos naturais no dia a dia de casas residencias	354
14	Sustainability and resilience for transformation in the urban century	Elmqvist et al. (2019)	Nature Sustainability	Analisar a necessidade de abordagens e maneiras de envolver a urbanização e a sustentabilidade com resolução de problemas e reorganização do sistema.	351
15	Sustainable development: Meaning, history, principles, pillars, and implications for human action: Literature review	Mensah (2019)	Cogent Social Sciences	Analisar conceitos, história, dimensões, princípios, pilares e as implicações destes para a tomada de decisão e ação as questões dos pilares tridimensionais	325

(continuação)

#	Título	Autores (Ano)	Fonte	Oportunidades	Total de citações (10/01/22)
16	Viable supply chain model: integrating agility, resilience and sustainability perspectives—lessons from and thinking beyond the COVID-19 pandemic	Ivanov (2022)	Annals of Operations Research	Sistematizar insights gerenciais de diferentes aplicativos VSC que podem ser estudados e articulados em diferentes indústrias e serviços, abrangendo todos os ecossistemas.	296
17	Blockchain technology and the sustainable supply chain: Theoretically exploring adoption barriers	Kouhizadeh et al.(2021)	International Journal of Production Economics	Identificar e descrever o efeito da adoção de blockchain em aumentar a eficiência, a transparência e a rastreabilidade das cadeias de abastecimento sustentáveis considerando esses fatores juntos e não como uma hierarquia.	293
18	Industry 4.0 technologies assessment: A sustainability perspective	Bai et al.(2020)	International Journal of Production Economics	Mensurar as contribuições da Indústria 4.0 para as três esferas da sustentabilidade	289
19	Solar-driven, highly sustained splitting of seawater into hydrogen and oxygen fuels	Kuang et al.(2019)	Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America	Identificar e descrever os benefícios e impactos a sustentabilidade do anodo desenvolvido NiFe/NiSx/Ni para eletrólise estável da água do mar	286
20	Towards Sustainable Energy: A Systematic Review of Renewable Energy Sources, Technologies, and Public Opinions	Qazi et al .(2019)	IEEE Access	Sistematizar príncipios para desenvolvimento de energia limpa e sustentável dentro da indústria	284
21	Industry 4.0: A solution towards technology challenges of sustainable business performance	Haseeb et al. (2019)	Social Sciences	Mensurar as contribuições da Indústria 4.0 no alcance do desenvolvimento sustentável em organizações PMEs	261
22	Sustainable manufacturing in Industry 4.0: an emerging research agenda	Machado et al. (2020)	International Journal of Production Research	Analisar a implementação de diferentes oportunidades para vincular a manufatura sustentável e o uso das novas tecnologias permitindo que as indústrias alcancem os objetivos completos da Indústria 4.0.	258
23	Sustainable supplier selection: A multi-criteria intuitionistic fuzzy TOPSIS method	Memari et al. (2019)	Journal of Manufacturing Systems	Analisar as interdependências entre critérios e subcritérios podem influenciar os resultados sobre o método fuzzy TOPSIS de modo selecionar o fornecedor sustentável certo	257
24	Constructing sustainable tourism development: The 2030 agenda and the managerial ecology of sustainable tourism	Hall (2019)	Journal of Sustainable Tourism	Analisar quais os impactos que as atividades de turismo têm nos 17 ODS	248
25	Radical transformation pathway towards sustainable electricity via evolutionary steps	Bogdanov et al. (2019)	Nature Communicatio ns	Propor uma estrutura desenvolvimento econômico para o desenvolvimento e uso das energias renováveis em países emergentes	241
26	Can big data and predictive analytics improve social and environmental sustainability?	Dubey et al. (2019)	Technological Forecasting and Social Change	Examinar a adoção do BDPA usando a integração da teoria institucional e DCV e analisar os possíveis impactos ambientais	241
27	Towards a typology of intermediaries in sustainability transitions: A systematic review and a research agenda	Kivimaa et al. (2019)	Research Policy	Analisar os intermediários a outros tópicos emergentes e importantes em estudos de transições de sustentabilidade, incluindo a política	239
28	COP21 Roadmap: Do innovation, financial development, and transportation infrastructure matter for environmental sustainability in China?	Umar et al. (2020)	Journal of Environmental Management	Analisar os impactos financeiros com a utilização de combustíveis limpos e renováveis no transporte público, para a gestão pública e privada	232
29	A framework to overcome sustainable supply chain challenges through solution measures of industry 4.0 and circular economy: An automotive case	Yadav et al. (2020)	Journal of Cleaner Production	Analisar a estrutura para superar os desafios do SSCM através da indústria 4.0 e medidas de soluções baseadas na economia circular nos países do G20	230
30	Green human resource management and the enablers of green organisational culture: Enhancing a firm's environmental performance for sustainable development	Roscoe et al. (2019)	Business Strategy and the Environment	Identificar e descrever o papel desempenhado por cultura organizacional verde na promoção do local de trabalho verde de comportamento voluntário.	229

APÊNDICE B – TOP 30 PAÍSES

#	País	Índice H	Total de citações (24/01/23)
1	China	28	340
2	Federação Russa	11	193
3	Reino Unido	23	148
4	Estados Unidos	19	133
5	India	20	119
6	Italia	22	113
7	Espanha	21	97
8	Polônia	14	97
9	Indonesia	9	96
10	Brasil	15	93

APÊNDICE C – TOP 30 PERIÓDICOS

#	Periódico	Percentil Scopus	Índice H	Total de citações (24/01/23)
1	Journal of Cleaner Production	98%	36	3552
2	Sustainability Switzerland	86%	25	3057
3	Business Strategy And The Environment	98%	21	1384
4	Corporate Social Responsibility and Environmental	99%	19	1050
5	Sustainable Development	98%	10	262
6	Energies	85%	6	96
7	E3s Web Of Conferences	25%	6	81
8	Iop Conference Series Earth And Environmental Science	20%	3	59
9	Csr Sustainability Ethics And Governance	-	3	26
10	Lecture Notes In Networks And Systems	12%	4	25

Capítulo 2

Educação ambiental lúdica com crianças especiais em atendimento no Centro de Atenção Psicossocial Infantil "O Equilibrista"

Tainar Gavião Leal
Suzimary Specht
Cíntia Camilo Mincolla

Resumo: Este trabalho foi desenvolvido no Centro de Atenção Psicossocial Infantil (CAPSI) O Equilibrista, de Santa Maria RS, com grupo de crianças de 7 a 9 anos, ao longo de quatro semanas, tendo como norte dois objetivos: primeiramente desenvolver a educação ambiental com estas crianças especiais, através de atividades lúdicas e divertidas, que visam abordar temáticas ambientais a partir da percepção de cada um deles, ou seja, tratando as questões ambientais de maneira inclusiva, respeitando o processo construtivo de cada criança, potencializando a curiosidade e a noção de responsabilidade para com o Planeta Terra, e em segundo, no decorrer do desenvolvimento destas atividades, atentar sobre a interação destas crianças especiais com os materiais lúdicos construídos e o grau de relevância de um trabalho de educação ambiental num Centro de Atenção Psicossocial Infantil. As atividades de educação ambiental realizadas com as crianças especiais no CAPSI pode ser objeto de leitura, estudo e novas proposições práticas em diferentes espaços que envolvem atividades com crianças especiais. Destaca-se também, que a prática da educação ambiental leva à sensibilização ambiental e por excelência propicia trocas de saberes e conhecimentos, podendo gerar aprendizagens com toda população, como o caso das crianças que são atendidos no CAPSI que iniciaram as atividades dentro da sala de aula e levaram seus conhecimentos para seus familiares.

Palavras-chave: Educação Ambiental, Ludicidade, Crianças Especiais.

1. INTRODUÇÃO

A educação ambiental, conforme a Política Nacional de Educação Ambiental de 1999, um tema transversal a ser abordado em todas as formas de ensino formal e não formal, em todos os segmentos da sociedade. Dentre esta gama de possibilidades de se trabalhar a educação ambiental, houve a proposição de se realizar atividades de educação ambiental com crianças especiais que são atendidas pelas terapeutas do Centro de Atenção Psicossocial Infantil (CAPSI) O Equilibrista, localizado no Rio Grande do Sul, no município de Santa Maria, RS.

Esta instituição foi fundada em dezembro em 2005, sendo um espaço de acolhida para crianças com transtornos mentais. O CAPSI Equilibrista atende as demandas encaminhadas pela Atenção Básica de Saúde ou PRAEM Municipal, sendo que conta com aproximadamente 600 prontuários ativos, acolhendo em torno de 20 usuários novos por mês. O atendimento ora é individual, ora em grupo de no máximo 6 crianças normalmente por 50 minutos.

Este trabalho foi desenvolvido, no período de pandemia pela Covid 19, com grupo de crianças de 7 a 9 anos, tendo como norte dois objetivos: primeiramente desenvolver a educação ambiental com estas crianças especiais, através de atividades lúdicas e divertidas, que visam abordar temáticas ambientais a partir da percepção de cada um deles, ou seja, tratando as questões ambientais de maneira inclusiva, respeitando o processo construtivo de cada criança, potencializando a curiosidade e a noção de responsabilidade para com o Planeta Terra; e em segundo, no decorrer do desenvolvimento destas atividades, atentar sobre a interação destas crianças especiais com os materiais lúdicos construídos e o grau de relevânciade um trabalho de educação ambiental num Centro de Atenção Psicossocial Infantil.

Para tal, neste estudo já está apresentada aqui na introdução, um breve histórico sobreo CAPSI Equilibrista. Após, o referencial teórico e a metodologia. Na sequência será apresentado como se deu o desenvolvimento das atividades lúdicas com as crianças especiaise analisado como a educação ambiental é possível e necessária de acontecer. Por fim será apresentada a conclusão.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

A fim de facilitar a compreensão sobre educação ambiental e sobre educação para crianças especiais, será realizada uma revisão bibliográfica com a discussão de diversos autores sobre estas duas temáticas: educação ambiental e educação com crianças e jovens especiais.

2.1. EDUCAÇÃO AMBIENTAL

A Educação Ambiental é uma temática transversal e multidisciplinar, a ser abordada em todas as áreas do conhecimento. Desse modo, cabe destacar que em todas as áreas, leva à reflexão acerca do nosso agir em relação à natureza, em relação a todas as formas de vida sobre o planeta.

No caso do Brasil, esta transversalidade foi normatizada através da Lei nº 9.795, de 27 de janeiro de 1999, que dispõe sobre a Educação Ambiental e instituiu a Política Nacional de Educação Ambiental, que no seu artigo 2 º afirma que:

> Art. 2º A educação ambiental é um componente essencial e permanente da educação nacional, devendo estar presente, de forma articulada, em todos os níveis emodalidades do processo educativo, em caráter formal e não-formal (BRASIL,1999).

A educação ambiental, por ser entendida como transversal, para todos, propicia que se pense globalmente, para que haja um agir localmente. A junção das várias ações locais levará a transformações globais. A necessidade destas ações se dá pois:

> Art. 1º Entende-se por educação ambiental os processos por meio dos quais o indivíduo e a coletividade constroem valores sociais, conhecimentos, habilidades, atitudes e competências voltadas para a conservação do meio ambiente, bem de uso comum do povo, essencial à sadia qualidade de vida e sua sustentabilidade (BRASIL, 1999).

Mas para que a sustentabilidade seja alcançada, é necessário, segundo Tachizawa (2009), que a sociedade atual faça o resgate do seu vínculo com a natureza. Daí a importância da Educação ambiental, que instrumentaliza os indivíduos para uma situação reflexiva e crítica da realidade, que potencialize o agir de forma transformadora, onde os atores sociais passem a atuar no modo de corresponsabilidade, desenvolvendo uma visão de respeito à todas as formas de vida (Tristão, 2002).

E esta visão de respeito e ação em prol de todas as formas de vida só é possível se efetivamente todos os indivíduos de todas as faixas etárias, em todos os níveis, na educação formal e informal, forem educados ambientalmente, e exercitarem diariamente. Segundo Egan(2007), a educação ambiental somente acontecerá na vivência do dia a dia, ou seja, na prática, isso porque a vivência com a natureza e o meio ambiente é algo insubstituível. Assim, será vivenciado um mundo de descobertas, impactos, potenciais de restaurações, entre outras peculiaridades que o meio ambiente fornece. E estas peculiaridades são o que mais chamam a atenção das crianças e jovens, que possuem a curiosidade sempre mais aguçada e geralmente são mais sensíveis às questões ligadas ao meio ambiente, pois comumente são imbuídos de encantamento e da percepção de que somos parte da história do planeta.

2.2. EDUCAÇÃO AMBIENTAL COM CRIANÇAS ESPECIAIS: PERSPECTIVAS EDUCACIONAIS LÚDICAS

Ao falar de educação ambiental com crianças especiais, cumpre destacar o que foi relatado no tópico anterior, qual seja, a importância da educação ambiental para todos. Nesse sentido, é importante destacar a relevância da abrangência de informação para todos, como um todo. Logo, quando fala-se todos, menciona-se uma educação ambiental inclusiva, a fim de ser incorporada para todos os cidadãos.

Ao mencionar a inclusão na educação ambiental, é importante trazer uma breve consideração quanto a psicologia, essa sendo incorporada como prática profissional, uma vez que já há a presença do psicólogo ambiental, o qual dedica seus estudos nas relações humanas ambientais. Desse modo, é importante destacar que a psicologia ambiental é dotada de uma dupla personalidade, sendo identificadas a primeira como a personalidade ambiental e a segunda como a personalidade da psicologia. Cumpre destacar que ambas possuem matrizes que se interligam, isso porque ambas possuem

teorias e práticas aliadas entre si por tratarem e possuírem peculiaridades fundamentais (Pinheiro, 2005).

Frente a proposta de duplo vínculo entre o estudo da psicologia e o da educação ambiental, destaca-se que a elaboração de projetos para estas áreas de estudo podem ser grandes aliados, uma vez que a percepção e a cognição do ambiente, bem como a análise dos problemas do interesse social, em conjunto com o comportamento humano tornam-se combinações bastante precisas quando aliados ao meio ambiente em que a criança encontra-se inserida (Gunther; Pinheiro; Guzzo, 2006).

De acordo com Cavalcante e Elali (2011) o comportamento ambiental é constituído a partir de um conjunto de atitudes as quais são conexas com o meio ambiente. Logo, a escola torna-se uma aliada importante ao apresentar as primeiras abordagens acerca da temática.

Entretanto, cabe destacar que apenas a introdução de um debate em sala não é o bastante para realizar a introdução sobre a temática, visto que o interesse pela questão deverá ser trabalhado e fomentado em conjunto, incentivando o trabalho através de práticas dinâmicas, a fim deobjetivar o alcance de uma sensibilização ambiental.

Desse modo, o comportamento ambiental dispõe de diversos questionamentos por parte dos estudos, uma vez que as mudanças do meio ambiente apresentam a necessidade da adequação de uma postura socioambiental correta, logo, necessitando de uma reavaliação de conceitos e visões acerca da natureza (Carvalho, 2004).

Ao falar de comportamento e educação ambiental pode-se mencionar conjuntamente a interação, isso porque a relação com o outro é algo muito importante na fase da infância e da adolescência, uma vez que o brincar em conjunto é algo de grande importância nessa fase. Através do brincar em conjunto, cria-se a fase da descoberta, bem como a apropriação e a reprodução (Carvalho, 2004).

Ainda no que tange a reprodução é importante destacar que brincar e aprender conjuntamente pode contribuir desde cedo para a quebra desse ciclo cultural de que a contribuição com o meio ambiente é uma ação isolada e que a mesma não produzirá efeitos.

Ainda sobre o favorecimento da interação é necessário falar sobre a importância desse fator na fase infantil, uma vez que nessa, tem-se etapas de aberturas quanto as novas percepções sendo essas as que identificam-se por mais claras e as que ainda devem ser abertas. (Cavalcante e Elali, 2011).

2.3. EDUCAÇÃO AMBIENTAL INCLUSIVA

A respeito da educação inclusiva, é importante destacar que essa apresenta uma área muito vasta do conhecimento, uma vez que a própria educação especial foi reconhecida através da promulgação da Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996, que estabeleceu as Diretrizes e Bases da Educação Nacional, onde no dispositivo do artigo 58, apresenta questõesacerca da educação especial (Brasil, 1996).

Nessa legislação a educação especial é reconhecida como uma base de serviço deapoio especializado, a qual é provida sob condições específicas, a educandos que possuem deficiências e/ou transtornos globais de desenvolvimento, ou também altas habilidades, ou superdotação. Essa modalidade de serviço de educação é fornecida na rede regular de ensino brasileira (Brasil, 1996).

Cabe mencionar também, a Política Nacional de Educação Especial, instituída pelo Decreto nº 10.502, de 30 de setembro de 2020, que objetiva o fortalecimento do movimento de inclusão, apresentando as atividades desenvolvidas a serem definidas como: o atendimento educacional especializado (AEE) que possuem como finalidade principal o atendimento dos estudantes que possuem necessidades educacionais especiais, assim como, complementar suas necessidades de aprendizado e até mesmo focar posteriormente em formação profissional dessas crianças especiais (Brasil, 2008).

Outra questão importante a ser ressaltada é que diagnósticos em crianças com necessidades especiais devem ser realizados com cautela, isso por se tratarem de crianças. Logo, a mesma deve ser incentivada a brincar, construir e adentrar no mundo lúdico. É de grande importância valorizar as capacidades e habilidades das crianças, bem como estimular, desconstruindo a ideia de que porque se trata de uma criança especial a mesma não possui capacidades, habilidades e competências, uma vez que a mesma possui. É importante destacarque além do incentivo, a criança deve sempre passar do estímulo para as brincadeiras, pois o universo lúdico é essencial para todas elas.

Cabe lembrar que nos parágrafos anteriores foi visto que a educação ambiental tem um papel muito importante em conjunto com a psicologia. Desse modo, a questão ambiental pode ser uma grande aliada ao proporcionar o incentivo ao comportamento ambiental responsável através de atividades lúdicas educativas para realizar a intervenção com crianças especiais, isso levando em consideração o método de terapia para o desenvolvimento das mesmas (Carvalho, 2004).

Atividades lúdicas com foco em meio ambiente são de grande relevância, uma vez que envolve as reflexões ecológicas sobre um meio ambiente ecologicamente sustentável e a construção de uma percepção lúdica que é de grande validade, visto que as crianças especiais também fazem parte das futuras gerações e também devem desenvolver seus conhecimentos e valores ecológicos contribuindo para um mundo melhor (Carvalho, 2004).

Vale destacar que a educação ambiental na educação infantil é uma temática de grande relevância, visto que nessa fase a criança encontra-se totalmente aberta ao aprendizado, estando disposta a aprender e ser incentivada, o que irá colaborar de forma significativa para que a mesma torne-se um adulto interessado e comprometido com os valores ambientais, tornando-se um cidadão preocupado com seu meio ambiente. Um adulto consciente com a preservação do meio ambiente é tudo o que a geração futura carece e espera para uma mudança ambiental (Klabin, 2011).

Quaisquer atitudes sociais são capazes de causar intervenções e reflexões no meio ambiente, isso é porque a associação entre educação especial e educação ambiental são de extrema relevância. Logo, se cada um realizar as ações que lhe incumbem e exaltar o respeito ao próximo, bem como o meio ambiente e as diferenças, o mundo será mais igualitário, um ambiente melhor e assim sucessivamente pode-se ter uma geração menos egocêntrica, mais voltada para o biocentrismo e até mesmo o ecocentrismo (Milaré, 2013).

Destaca-se ainda, que crianças com necessidades especiais envolvendo a parte intelectual, em sua maioria das vezes são subestimadas, o que pode implicar em uma visão de simplificação de ensino, sendo esse visto como alguém que tenha que ser designado de forma diferente das demais crianças. Porém, é necessário anular essa visão excludente, uma vez que os estímulos para o desenvolvimento das crianças deverão ser dados de forma igualitária (Santos, 2012). Cabe destacar, que as crianças atípicas ao serem

sensibilizadas ambientalmente tendem a se tornar, assim como as crianças típicas, multiplicadores de ações sustentáveis.

Desse modo, é importante destacar que a educação ambiental pode ser uma aliada da educação especial, isso porque ambas se completam na questão de construção de novos padrões e saberes. É de grande relevância incentivar e compreender que toda educação pode ser praticada de forma lúdica, o que além de mais viável para a compreensão é ainda adequado, pois quando trata-se de crianças todas compreendem melhor de forma divertida.

3. METODOLOGIA

Na data do dia 16 de novembro de 2021 foram iniciadas as atividades de educação ambiental no CAPSI. As atividades foram previstas para serem realizadas com quatro grupos (de até cinco integrantes), ao longo de quatro semanas. Porém, devido as complicações com a pandemia e encerramento do ano, algumas crianças não participaram de todas as atividades.

Os recursos utilizados foram materiais lúdicos como jogos, fantoches e brinquedos, feitos a partir de materiais recicláveis, que foram manuseados por 8 crianças atendidas no CAPSI O Equilibrista.

Cada uma das crianças que participou das atividades, teve ao longo de 4 semanas, no atendimento semanal, de 10 a 35 minutos de “Educação Ambiental”. Na primeira semana foi trabalhada a temática Biodiversidade. Na segunda semana a temática Recursos Hídricos (água). Na terceira semana resíduos e rejeitos. Na quarta semana foi realizado um questionário para captar a percepção das crianças a partir das atividades das 3 semanas anteriores. Todas estas atividades, ao longo das 4 semanas, foram realizadas pelas autoras deste estudo chamadas de “tias”, com acompanhamento das terapeutas, com cada criança individualmente e/ou em grupos.

Para tal foi construído um carrinho a partir do reuso de um caixote de feira, com rodinhas feitas com garrafa pet, hastes de bambu e puxador de sisal, que serviu de meio de transporte e acondicionamento dos materiais lúdicos.

Estes materiais lúdicos trataram de temáticas ambientais específicas: I) Biodiversidade, II) Recursos Hídricos (água) e III) Resíduos e Rejeitos (lixo).

A temática Biodiversidade foi abordada através de fantoches de animais selvagens feito a partir do reuso de caixa de leite e reaproveitamento de restos de T.N.T. e E.V.A. Os *cards* do jogo de memória, de animais domésticos, foram feitos com restos de caixas de medicamentos. O jogo das lixeiras foi feito com reuso de rolinhos de papel higiênico e papelão. E o jogo da pescaria foi feito com reuso de caixa de papel, anéis de latinhas, restos de E.V.A. e conchinhas.

Ao longo do processo educacional de brincar, das crianças, com os materiais lúdicosde educação ambiental, foi feita a observação das seguintes questões: qual das três temáticas mais chamou a atenção das crianças; qual foi brinquedo ou o fantoche ou o jogo preferido; e quais foram as palavras que se exponenciaram nas falas das crianças ao longo das atividades das 3 primeiras semanas.

4. PRÁTICAS DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL DE FORMA LÚDICA

4.1. PRIMEIRA SEMANA

Durante a primeira semana foram realizadas as atividades referentes a temática biodiversidade com três crianças. No primeiro atendimento individual com a criança "A", foi jogado o jogo da memória dos animais domésticos onde a criança relatou já possuir conhecimento sobre o tipo de jogo. Escolheu jogar primeiramente com uma das "tias" e após com uma das terapeutas, sendo que fez acertos logo na primeira jogada e tirou seu animal doméstico favorito, o gato. Venceu o jogo, acertou 6 pares contra 3 da "tia". Jogou novamente com a terapeuta. A terapeuta ganhou de 5 a 4. Após, foram apresentados os fantoches dos animais selvagens à criança. As brincadeiras foram iniciadas e a criança recebeu informações sobre a diferença dos animais domésticos e selvagens e a importância de preservá-los em seus habitats naturais. Quando questionada sobre qual fantoche mais gostou,a criança respondeu:

> "Eu gostei mais do macaco, vou dar o nome dele de Simão."
>
> - E qual animal doméstico você mais gostou? "Eu gostei mais do gato".

O segundo atendimento, da primeira semana, foi em dupla com a criança "B" e a criança "C". Elas jogaram juntas o jogo da memória, interagiram bastante, mas estavam bastante ansiosas para terminar e brincar com os fantoches. Ambos tiveram dificuldades em seguir as regras do jogo de memória (virar somente duas peças), e a criança "B" ganhou de 5a 4 da criança "C". Gostaram bastante do jogo. Logo após eles brincaram com os fantoches e ficaram curiosos em saber a origem dos fantoches.

> "Onde você comprou esses brinquedos, tia?"

Quando souberam que os brinquedos eram feitos a partir do reuso de materiais ficaram surpresos e curiosos.

> "Nossa! Mas a caixa de leite não tem cheiro ruim?"

Quando questionados sobre qual foi o animal preferido ambas as crianças relataram ser o macaco. A criança "C" gostou tanto que até lhe deu um nome.

> "Eu gostei mais desse macaquinho, vou chamar ele de Macaco Lulu."

Foi conversado sobre a diversidade das espécies, a importância de preservá-las em seus habitats naturais e seus papéis na cadeia alimentar. A criança "B" possuía pouco conhecimento sobre a cadeia alimentar e pareceu muito surpresa ao saber que a onça poderia se alimentar do jacaré e do macaco.

> "Sério?! Ela não pode comer eles não!""Coitadinho do macaco!"
>
> "Eu já vi um macaco de perto, eles são fofinhos!"

A criança "C" lembrou da importância de cuidar das abelhas para ter mel. "Precisamos das abelhas para ter mel."

Enquanto que a criança "B" relatou ter medo de abelhas.

> "Mas eu tenho medo de abelhas, elas picam."

Depois de receber as informações sobre a importância das abelhas na reprodução das plantas, ficou perceptível que a criança "B" queria mais informações. Então foram mostrados fotos e vídeos onde apareciam as pequenas operárias trabalhando na

fecundação das flores.

"Elas ficam sempre limpando as mãos".

Quando questionadas sobre qual foi seu animal doméstico preferido a criança "B" escolheu o coelho. E a Criança "C" o Hamster (rato).

4.2. SEGUNDA SEMANA

Na segunda semana foram realizadas as atividades referentes as temáticas biodiversidade e recursos hídricos com cinco crianças, duas em continuação à primeira semana.

O primeiro atendimento, da segunda semana, foi individual com a criança "D", sendo que com essa criança foi jogado o jogo da memória. Ela estava muito tímida no início, falou muito pouco, mas gostou bastante do jogo, ganhando de 8 a 1. Além disto, também gostou bastante dos fantoches e disse que nunca havia brincado com um. Ficou curiosa para saber como foi feito e disse que iria convidar sua mãe para fazer um em casa.

"Eu tenho caixa de leite em casa, vou fazer um com a minha mãe."

Já sabia diferenciar os animais selvagens dos domésticos e relatou que seu animal favorito era a ovelha. Também contou que gostava muito de desenhar. No jogo da pescaria a criança podia pescar peixes ou resíduos sólidos jogados indevidamente nos recursos hídricos. Quando pescou os peixes devolveu todos ao mar. Quando pescou um celular quebrado disse que consertaria o celular ao invés de descartá-lo nas lixeiras.

"Vou consertar esse telefone quebrado para mim".

Logo após ele pescou dois pneus e disse que iria reutilizá-los em seu carro."Esses pneus vou usar no meu carro".

Na sequência ele pescou uma caixa de leite e disse que usaria para fazer um fantoche com sua mãe.

"Vou fazer um fantoche com a minha mãe".

O segundo atendimento, da segunda semana, foi em dupla com a criança "E" e a criança "A". Elas jogaram o jogo da memória e após brincaram com os fantoches. Logo após jogaram o jogo da pescaria, sendo que ambos gostaram bastante do jogo. A criança "E" se mostrou bastante retraída e tímida no início, mas se soltou no final. Pescou os peixes e devolveu para o mar, fazendo o mesmo com os resíduos. Foi explicado (com ajuda da criança "A"), que o lugar dos resíduos é nas lixeiras e da importância de se preservar os recursos hídricos.

O terceiro atendimento, da segunda semana, foi em dupla com a criança "C" e criança "G". A criança "G", se mostrou bastante comunicativa, disse que nunca havia jogado o jogoda memória, apresentou um pouco de dificuldade para entender o jogo no início necessitando de ajuda, mas logo compreendeu o jogo e as duas crianças foram muito competitivas. Porém, demoraram para acertar os pares. A criança "C" ganhou de 5 a 4. O animal doméstico favoritoda criança "G" foi o cachorro. A criança "G" reconheceu os animais selvagens apresentados em forma de fantoches, e o seu favorito foi o jacaré. Ainda não sabia diferenciar os animais domésticos dos selvagens. A criança "C" relatou que seu animal doméstico favorito foi o porco e o selvagem foi a onça e o jacaré. A criança "G" usou o fantoche do jacaré para pescar,quando pescou um peixe e foi questionada sobre o que ela faria com o mesmo, rapidamente respondeu:

"Eu vou cozinhar ele pra comer".

Apesar da afirmação de que iria consumir o peixe, devolveu o animal para o mar. Quando pescou os resíduos descartou nas lixeiras. A criança "C" usou o fantoche da onça para pescar. Quando pescou os peixes os devolveu para o mar e quando pescou resíduos, os descartou nas lixeiras. Quando as duas crianças foram questionadas sobre o porquê não se deve lançar resíduos no mar, ambos responderam que "é porque suja a água e os peixes morrem".

4.3. TERCEIRA SEMANA

Na terceira semana foram realizadas as atividades referentes às temáticas: biodiversidade, recursos hídricos, resíduos e rejeitos com cinco crianças, três em continuidade às semanas anteriores.

O primeiro atendimento, da terceira semana, foi individual com a criança "D". Foram relembradas as atividades anteriores e após foi realizado o jogo das lixeiras. A criança memorizou logo na primeira vez todas as cores das lixeiras e descartou corretamente quase todos os resíduos.

O segundo atendimento, da terceira semana, foi em dupla com as crianças "E" e "F". A criança "F" jogou o jogo da memória com a criança "E" que já conhecia o jogo. A criança "F" relatou gostar muito do jogo da memória e já conhecia todas as regras do jogo. Após eles brincaram com os fantoches. A criança "F" relatou que seu animal favorito foi o cavalo, enquanto que a criança "E" relatou que seu animal favorito foi o pato. As duas crianças jogaram o jogo da pescaria, sendo que ambos deram o destino correto para os peixes e para os resíduos. No jogo das lixeiras, inicialmente as duas crianças confundiram bastante as cores, pois ainda não conheciam as cores das lixeiras, mas logo memorizaram corretamente.

O terceiro atendimento, da terceira semana, também foi em dupla, com a criança "E" a criança "A". Foram relembradas as brincadeiras anteriores e a criança "E" relatou que gostou muito do jogo da pescaria.

"Eu amei a pescaria, quero jogar de novo."

Dito isso, questionamos sobre a separação dos resíduos encontrados na pescaria. Ambas relataram não conhecer as cores das lixeiras, nem saber como é feita a segregação correta dos resíduos. Porém, após ser iniciado o jogo das lixeiras, a criança "A" memorizou muito rápido as cores e acertou quase todos os descartes, enquanto que a criança "E", no início confundiu bastante as cores, mas depois memorizou corretamente.

4.4. QUARTA SEMANA

Na quarta e última semana as práticas de educação ambiental foram com duas crianças, sendo uma em continuidade das semanas anteriores (criança A).

O primeiro atendimento, da quarta semana, foi individual com a criança "H", que até então não havia participado das aulas de educação ambiental. Ela já conhecia o jogo da memória, mas se interessou mais pelos fantoches de animais selvagens, sendo que seu animal favorito foi a onça-pintada. Logo após, ocorreu a realização do jogo da pescaria em que a criança pescou muitos peixes e poucos resíduos. Apesar de bastante tímida a criança respondeu às perguntas e realizou os descartes corretamente e devolveu os peixes para a

água. No jogo das lixeiras a criança memorizou muito rápido as cores das mesmas, porém acertou poucos descartes. Quando questionei a criança sobre qual atividade mais gostou, ela respondeu que foram os fantoches de animais selvagens. Convidei então a criança e juntamente com as terapeutas foi confeccionado um fantoche de onça com caixa de leite e outros materiais reaproveitados. O fantoche foi construído e a criança o levou para casa muito feliz.

O segundo atendimento, da quarta semana, foi individual com a criança "A". Como a criança já havia realizado todas as atividades, foi aplicado somente o questionário. A atividade que mais gostou foi o jogo das lixeiras. Após foi demonstrado à criança como os brinquedos foram feitos e questionado qual brinquedo ela gostaria de construir com materiais recicláveis. Ela respondeu que gostaria de fazer um fantoche de tubarão, que foi construído com a ajuda das terapeutas. A criança pode levar seu fantoche para casa. Ele foi brincando com o fantoche pelo caminho, demonstrando muito interesse no brinquedo recém construído.

Ao longo das quatro semanas, as terapeutas ajudaram muito na confecção dos fantoches e de todas as demais atividades, sendo que os materiais lúdicos foram doados ao CAPSI. As terapeutas deram continuidade às atividades de educação ambiental junto das crianças, o que vem ao encontro da afirmação de Pinheiro (2005), que ressalta a importância da educação através de atividades lúdicas, isso no que tange as crianças como um todo, não somente as crianças especiais.

5. INTERAÇÃO DAS CRIANÇAS ESPECIAIS COM O MEIO AMBIENTE: A PARTIR DAS ATIVIDADES LÚDICAS DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL

Quando fala-se sobre crianças automaticamente é lembrado o brincar, aspecto lúdico esse que é fundamental no desenvolvimento delas. Por meio da brincadeira elas podem se expressar, criar, fantasiar, ou seja, podem ser o que quiserem, e é essa liberdade que torna obrincar mais divertido, consequentemente facilitando o entendimento das brincadeiras.

Desse modo, é importante destacar a importância da aplicação de atividades lúdicas como ferramenta para a educação ambiental, pois tratando-se de crianças especiais a comunicação por esse meio possibilitou um maior acesso as mesmas, visto que através do brincar a criança se expressa e aprende de forma divertida. Em se tratando de crianças especiais essa forma de trabalho foi ímpar, pois possibilitou grandes experiências e aprendizados apenas envolvendo a simples tarefa do brincar.

Assim, quando foi trabalhada a temática biodiversidade notou-se que as crianças ainda não compreendiam a diferença dos animais domésticos e selvagens. Demonstraram surpresa ao saber da importância de preservá-los em seus habitats, pois achavam que poderiam levar para casa os animais "fofinhos", mesmo que selvagens.

Ao inserir o trabalho com a temática dos recursos hídricos, a maioria das crianças realizou a atividade corretamente, demonstrando preocupação e incômodo com os resíduos e rejeitos denominados de (lixo) para as crianças, quando coletados na água. A reflexão com eles sobre este incômodo potencializou a introdução da temática Resíduos e Rejeitos com o jogo das lixeiras, onde tinham que destinar os *cards* com as imagens dos mais variados resíduos, nas lixeiras corretas. Diante disso elas questionaram sobre onde existiam as lixeiras no CAPSI, e uma das terapeutas informou que iria sugerir a adesão das lixeiras para o local.

No início das atividades a maioria das crianças demonstrou curiosidade em sabercomo os brinquedos e jogos tinham sido feitos. Muitas achavam que os brinquedos eram industrializados. Quando descobriram que eram artesanais, algumas crianças acharam até que os brinquedos poderiam "cheirar mal", devido ao reuso dos materiais que antes continham alimentos. Mas todas sem exceção, quiseram construir seu próprio brinquedo, que foram os fantoches, com materiais recicláveis. Para as que não puderam comparecer para fazer em atendimento na quarta semana de atividades, foi enviado aos responsáveis a sugestão para ajudarem as crianças a confeccionar os fantoches nas suas residências.

Dessa forma, as crianças que conseguiram confeccionar os brinquedos em atendimento demonstraram mais empolgação no início ao escolher qual brinquedo queriam confeccionar e no final quando viram "a obra" pronta. Ao final dos atendimentos notou-se grande ansiedade por parte das crianças em apresentar seus trabalhos aos responsáveis que estavam aguardando-as. Os responsáveis demonstraram alegria e surpresa com a beleza dos brinquedos construídos por suas crianças com materiais que antes seriam "lixo". A alegria foi tanta que ascrianças foram embora brincando com suas obras pelo caminho.

Diante de tudo isso, pode-se perceber uma melhora gradual da percepção ambiental tanto das crianças, como das terapeutas e até dos responsáveis no decorrer dos atendimentos. Por isso a educação ambiental permanente se faz tão importante, nunca tem-se conhecimento suficiente, uma vez que todos seres humanos encontram-se em constante aprendizado e quando compartilha-se esses aprendizados com as crianças é possível contribuir para um mundo melhor.

A respeito da construção coletiva de brinquedos com sucata, essa atividade pode ser considerada um jogo ou uma brincadeira. O seu valor não está no produto final – os brinquedos, mas no próprio processo. Construir um fantoche com caixa de leite ou um jogo de lixeiras com rolinhos de papel higiênico envolve, além da reutilização dos materiais considerados "lixo", a articulação da questão da redução do consumo com o reaproveitamento. A construção de brinquedos com reuso de materiais é um processo de atividade lúdica, prazerosa e criativa, que realiza concretamente a redução do consumo dos brinquedos industrializados, assim como o reaproveitamento daquilo que havia sido descartado.

6. CONCLUSÃO

As atividades de educação ambiental realizadas com as crianças especiais no CAPSI pode ser objeto de leitura, estudo e novas proposições práticas em diferentes espaços que envolvem atividades com crianças especiais.

A aplicação do presente trabalho ocorreu com o enfrentamento de alguns obstáculos, quais sejam a participação das crianças, pois muitos não puderam comparecer durante a primeira semana, em razão do tempo que estava chuvoso na semana. Também durante as demais semanas o comparecimento das crianças, na maioria dos casos, ocorreu de forma não contínua em razão da pandemia do Covid-19 e também por ser época de final de ano. Outra dificuldade de comparecimento das crianças ocorreu por parte dos responsáveis que não puderam levar as crianças.

Dessa forma, pode-se concluir que embora a aplicabilidade do presente trabalho tenha sido realizada frente aos obstáculos do não comparecimento integral das crianças, a proposta do mesmo foi atingida, pois as atividades foram aplicadas e durante este

processo de aplicação as crianças conseguiram realizar interações com sua realidade vivencial cotidiana, como quando eles comentam sobre o possível cheiro da caixa de leite ou quando afirmam que iriam consertar e reutilizar os resíduos e rejeitos pescados na brincadeira da pescaria.

Desse modo, também destaca-se que a prática da educação ambiental leva à sensibilização ambiental e por excelência propicia trocas de saberes e conhecimentos, podendo gerar aprendizagens com toda população, como o caso das crianças que são atendidos no CAPSI que iniciaram as atividades dentro da sala de aula e levaram seus conhecimentos para seus familiares.

REFERÊNCIAS

[1] BRASIL. Lei nº 9.795, de abril de 1999. **Dispõe sobre a educação ambiental, institui aPolítica Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9795.htm. Acesso em: 29 dez. 2021.

[2] BRASIL. Lei nº9.394, de dezembro de 1996. **Estabelece as diretrizes e bases de educação nacional**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9394.htm. Acesso em: 9 jan. 2022.

[3] BRASIL. Portaria nº 555/2007, prorrogada pela Portaria nº 948/2007. **Política nacional de educação especial na perspectiva da educação inclusiva**. Jan. 2008. Disponível em: http://portal.mec.gov.br/arquivos/pdf/politicaeducespecial.pdf. Acesso em: 7 jan. 2022.

[4] CARVALHO, R. E. **Educação Inclusiva: com os pingos nos "is"**. Porto Alegre: Mediação,2004.

[5] CAVALCANTE, C; E, G. A. **Temas Básicos em Psicologia Ambiental.** Petrópolis, RJ:Vozes, 2011.

[6] EGAN, L. **A escola sustentável: ecoalfabetizando pelo ambiente**. São Paulo: ImprensaOficial do Estado de São Paulo; Pirenópolis: Ecocentro IPEC, 2007.

[7] GUNTHER, H.; PINHEIRO, J. Q.; GUZZO R. S. L. **Psicologia Ambiental: Entendendo asrelações do homem com seu ambiente.** Campinas, SP: Editora Alínea, 2006.

[8] KLABIN, I. **A urgência do presente**: biografia da crise ambiental. ed. Rio de Janeiro:Elsevier, 2011.

[9] MILARÉ, É. **Direito do Ambiente**. 8 ed., rev., atual. e ampl. São Paulo: Editora Revista dos Tribunais Ltda., 2013.

[10] PINHEIRO, J. Q. LUGAR E O PAPEL DA PSICOLOGIA AMBIENTAL NO ESTUDODAS QUESTÕES HUMANO-AMBIENTAIS, SEGUNDO GRUPOS DE PESQUISA BRASILEIROS. **Psicologia USP**, 2005, 16(1/2), 103-113. Disponível em: < http://www.scielo.br/pdf/%0D/pusp/v16n1-2/24647.pdf>. Acesso em: 26 de dez. 2021.

[11] SANTOS, D. C. O. **Potenciais dificuldades e facilidades na educação de alunos comdeficiência intelectual**. Educação e Pesquisa, São Paulo, v. 38, n. 4, 2012.

[12] TACHIZAWA, Takeshy. **Gestão ambiental e responsabilidade social corporativa**: estratégias de negócios focadas na realidade brasileira. 6 ed. São Paulo: Atlas editora, 2009.

[13] TRISTÃO, M. P. **Tecendo os fios da educação ambiental**: o subjetivo e o coletivo, o pensado e o vivido. Universidade Federal do Espírito Santo, 2005. Disponível em: http://arquivos.ambiente.sp.gov.br/cea/cea/Texto_MTristao.pdf. Acesso em: 9 dez. 2021.

Capítulo 3

Educação Ambiental para aprendizagem sobre resíduos e rejeitos pela perspectiva da Agenda 2030

Lauren de Arrial Lovato
Nubia de Fatima Zambrano Oliveira
Etiele Laia Zang
Suzimary Specht

Resumo: Este trabalho teve por objetivo instigar os estudantes do 4º ano da Escola de Ensino Fundamental Renato Nocchi Zimmermann, do município de Santa Maria – RS, para o aprendizado sobre resíduos e rejeitos no que tange à identificação e diferenciação dos tipos, à separação seletiva e às possibilidades de reúso e de reciclagem, através de atividades relacionadas com os ODS/metas: 4.7, 11.6 e 12.5 da Agenda 2030. A metodologia utilizada foi a qualitativa. Para tal, o projeto foi estruturado após o estudo sobre: **(i)** a história da educação ambiental mundial e brasileira, suas vertentes teóricas e metodológicas, e a PNEA; **(ii)** a Agenda 2030 da ONU e **(iii)** a implantação da Coleta Seletiva em Santa Maria – RS. A partir desta miríade de estudos, foi elaborado um projeto de educação ambiental, de caráter extensionista para ser aplicado junto à turma de 15 estudantes. A extensão universitária deve exercer sempre que possível, este papel de ligação entre a produção do conhecimento científico e as demandas da sociedade. E no caso do município de Santa Maria, uma demanda premente é a Gestão dos Resíduos e Rejeitos, que passou a disponibilizar parcialmente, para a população, de Coleta Seletiva, através de um programa piloto, chamado de Descarte Legal, instituído em maio de 2023. Mas ainda são necessárias inúmeras ações de educação ambiental a fim de que os munícipes façam a separação seletiva correta nas suas residências, para que a Coleta Seletiva por parte do Poder Público Municipal seja efetiva, as associações de selecionadores de materiais recicláveis e os catadores tenham acesso aos recicláveis separados e a Política Nacional de Resíduos Sólidos seja efetivada no município. E para que haja engajamento da sociedade local, o trabalho de educação ambiental com os estudantes nas Escolas é uma ferramenta importante, especialmente se a mesma, além dos espaços de aprendizagem em sala de aula, também propicia que os estudantes possam perceber seu espaço vivencial, de através de aulas "ao ar livre" estimulando seus sentidos para uma observação individual e coletiva, onde cada aluno em conformidade com sua percepção: visual, auditiva ou cinestésica seja instigado à reflexões sobre o seu papel cidadão e que suas ações cotidianas fazem toda a diferença. E além disto, a sensibilização dos estudantes tende a se espraiar para toda comunidade escolar, estimulando mais ações sustentáveis para o Planeta Terra.

Palavras chave: Educação Ambiental, Agenda 2030, Resíduos e Rejeitos.

1. INTRODUÇÃO

Firmada no ano de 2015, por 193 Estados-membros da Organização das Nações Unidas (ONU), dentre estes o Brasil, a Agenda 2030 é um plano de ação constituido por 17 objetivos e 169 metas, os quais buscam promover o desenvolvimento sustentável, integrando três dimensões: social, econômico e ambiental (figura 1). Para que estas sejam alcançadas, os objetivos e metas corroboram para ações em áreas de relevância crucial para o planeta e para os seres vivos, promovendo a prosperidade e parcerias, em respeito a paz, ao meio ambiente e as futuras gerações (ONU, 2015).

Figura 1: Agenda 2030 e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

Fonte: Organização das Nações Unidas (2015).

Entre os objetivos do desenvolvimento sustentável (ODS), com suas respectivas metas, a serem cumpridos até o ano de 2030, encontra-se a ODS/meta 11.6. De acordo com a ONU, esta tem o propósito de:

> "Até 2030, reduzir o impacto ambiental negativo per capita das cidades, melhorando os índices de qualidade do ar e a gestão de resíduos sólidos; e garantir que todas as cidades com acima de 500 mil habitantes tenham implementado sistemas de monitoramento de qualidade do ar e planos de gerenciamento de resíduos sólidos."

Para a referida temática, Scarlato e Pontini (1992, p. 03) infere que, "por mais contraditório que possa parecer, o homem dito inteligente vem introduzindo em seu habitat uma espécie competidora: o lixo, resíduos da civilização". Segundo a ONU (2023), os seres humanos geram aproximadamente 2,24 bilhões de toneladas de resíduos sólidos todos os anos, sendo que apenas 55% possuem gestão em instalações controladas.

Tais dados surgem como consequência de um processo histórico de desenvolvimento tecnológico, urbanístico, bem como populacional e econômico, o qual desencadeou na modificação de estilos de vida dos indivíduos, bem como nos métodos de produção e consumo (Gouveia, 2012). No Brasil, entre as décadas de 1940 e 2000, a população cresceu quatro vezes, ao passo que a taxa de urbanização foi de 31,3% para 81,2% (IBGE, 2007). Estes aspectos evidenciam um processo de urbanização acelerado, desenvolvido na maior parte, sem o devido planejamento, resultando na carência de infraestruturas e medidas públicas voltadas aos serviços de saneamento básico, dentre estes, a gestão de resíduos sólidos (De CarvalhO, 2012).

Como forma de minimização da referida problemática, a Agenda 2030 propôs ainda o ODS/meta 12.5, a qual propõe: "Até 2030, reduzir substancialmente a geração de resíduos por meio da Economia Circular e suas ações de prevenção, redução, reciclagem e reúso de resíduos." Com proposições mais específicas que a ODS 11.6, esta meta visa fomentar esta prática, que ainda é insuficiente no país.

De acordo com dados divulgados pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), 96% dos mais de 80 milhões de toneladas de resíduos geradas no Brasil em 2021 não foram reciclados. Ainda segundo o Sistema Nacional de Informações sobre gestão de Resíduos Sólidos (SINIR), em 2019 apenas 48% dos resíduos que não foram reaproveitados foram destinados à aterros sanitários, ao passo que o restante se dividiu a locais não adequados, como aterros controlados e lixões ou ainda atividades desconhecidas, podendo, nesse caso, ser incluso o reúso.

Na perspectiva dos entraves vinculados à adesão de métodos como o reúso e a reciclagem no Brasil, destaca-se ainda a carência de apelo público como um dos fatores agravantes. Embora o país possa vir a aplicar tecnologias e políticas públicas como a coleta seletiva, nem todos os indivíduos realizam a segregação adequada dos materiais, sendo difícil modificar tal hábito. Para isso, faz-se necessário que seja instigado o pleno entendimento acerca dos processos que integram a reciclagem ou reúso, a fim de que se torne conveniente a superação de objeções para a adoção do hábito da separação seletiva (Reinfeld, 1994, p.138).

Dessa forma, com base na necessidade da promoção de ações no âmbito da sensibilização, mais especificamente da questão ambiental referente aos resíduos e rejeitos, desde a segregação seletiva até a destinação final correta, enfatizando-se competências para um desenvolvimento sustentável, a Educação Ambiental (EA) torna-se essencial.

No Brasil a Lei nº 9.795, de 27 de abril de 1999, dispõe sobre a EA e institui a Política Nacional de Educação Ambiental (PNEA), fomentando em seu art. 2° como um "componente essencial e permanente da educação nacional, devendo estar presente, de forma articulada, em todos os níveis e modalidades do processo educativo, em caráter formal e não-formal."

E no art. 4°, inciso III, é salientado que "o pluralismo de ideias e concepções pedagógicas, na perspectiva da inter, multi e transdisciplinaridade" são princípios básicos da Educação Ambiental. Estes princípios vão de encontro com o ODS/met 4.7 que visa:

> "Até 2030, garantir que todos os alunos adquiram conhecimentos e habilidades necessárias para promover o desenvolvimento sustentável, inclusive, entre outros, por meio da educação para o desenvolvimento sustentável e estilos de vida sustentáveis, direitos humanos, igualdade de

> gênero, promoção de uma cultura de paz e não violência, cidadania global e valorização da diversidade cultural e da contribuição da cultura para o desenvolvimento sustentável."

Com base na necessidade do fomento da educação ambiental como prática pedagógica para a sensibilização acerca dos resíduos e rejeitos, foi elaborado e aplicado um projeto de extensão, por acadêmicas do Curso de Gestão Ambiental da Universidade Federal de Santa Maria, através do qual foram realizadas atividades junto à estudantes do 4º ano do Ensino Fundamental, que teve por objetivo instigar os mesmos para o aprendizado sobre resíduos no que tange à identificação e diferenciação dos tipos, à separação seletiva e às possibilidades de reúso e de reciclagem, através de atividades relacionadas com os ODS/metas: 4.7, 11.6 e 12.5 da Agenda 2030.

2. METODOLOGIA

A metodologia utilizada foi a qualitativa. Para Soares (2019, p. 169), esta "quase sempre é avaliada como o tipo de metodologia onde os conceitos levantados são imensuráveis".

Para tal, o projeto foi estruturado após o estudo sobre: (i) a história da educação ambiental mundial e brasileira, suas vertentes teóricas e metodológicas, e a PNEA; (ii) a Agenda 2030 da ONU e (iii) a implantação da Coleta Seletiva em Santa Maria – RS através do Programa Descarte Legal, instituído em 2023.

A partir desta miríade de estudos, foi elaborado um projeto de educação ambiental, de caráter extensionista para ser aplicado junto à turma de 15 estudantes, do 4º ano da Escola de Ensino Fundamental Renato Nocchi Zimmermann, que se localiza numa região do bairro de Camobi, no município de Santa Maria – RS, onde pais de alguns destes estudantes trabalham com a catação de resíduos e rejeitos; e um maior aprendizado sobre esta temática poderia ser espraiado, pelos mesmos, junto às suas famílias, além de ser enfatizada a importância do trabalho de catação para o meio ambiente.

As atividades propostas neste projeto de educação ambiental buscam mostrar os princípios da sustentabilidade propostos nos três ODS/metas da Agenda 2030 que são: 4.7, 11.6 e 12.5, no que tange à temática dos resíduos e rejeitos, comumente designados pela população como lixo.

Cabe salientar também, que estas atividades visam atingir os três canais de percepção dos estudantes: visual, auditivo e cinestésico, que segundo Espejo (2016) é baseado nas diferentes formas pelas quais os indivíduos concentram, absorvem, processam e retém informações e habilidades. Os auditivos preferem conteúdos ministrados por meio de discussões em sala de aula; os visuais, por meio da visualização do conteúdo, aprendendo, a partir de figuras e de imagens; e os cinestésicos**,** que utilizam os múltiplos sentidos, através de atividades práticas. Desse modo, as atividades foram estipuladas para a promoção do estímulo aos três canais sensoriais, para que assim houvessem diferentes possibilidades para a aprendizagem.

3. RESULTADOS

No primeiro momento, para a introdução da temática ambiental junto à turma, foi promovida uma sessão cinematográfica resumida do filme da Disney Wall-e. Os

estudantes contemplaram a obra, que apresenta problemáticas ambientais relacionadas a um futuro tecnológico, onde os seres humanos, já exauridos de seus recursos naturais e em péssimas condições de vida decorrente dos altos níveis de poluição, especialmente pela gestão incorreta de seus resíduos e rejeitos, deixam o Planeta Terra na espera de um retorno próspero. Desse modo, com uma atividade voltada ao audiovisual, houve a possibilidade de iniciar a sensibilização dascrianças, especialmente as visuais e auditivas, e a fim de potencializar a sensibilização dos estudantes cinestésicos foi agregado o uso do mascote Wall-e (figura 2), que foi confeccionado com materiais de reúso (como caixas de ovo, papelão e rolo de papel higiênico), acompanhando a turma durante todo o projeto. Após este momento, manuseando o mascote, foi feita uma roda de conversa potencializando que os estudantes expressassem suas percepções em relação ao que tinham visto no filme.

Figura 2: Moscote Wall-e feito a partir de materiais de reúso

Fonte: pelas autoras (2023).

Na sequência, foi realizada uma apresentação de slides, com figuras bem coloridas e com músicas. A primeira parte desta apresentação foi sobre a agenda 2030, especialmente os ODS/metas 4.7, 11.6 e 12.5. para que os estudantes pudessem compreender a abrangência das ações que iriam desenvolver.

Posteriormente, durante a segunda parte da apresentação, foram enfatizados os resíduos e rejeitos, promovendo a discussão dos seus conceitos, seus tipos e suas diferenças; da importância da separação seletiva e do descarte e deposição correta destes materiais. Na mesma oportunidade também foi abordado sobre a importância do trabalho dos(as) catadores(as) e dos selecionadores de materiais recicláveis que trabalham em associações ou cooperativas; e que o trabalho destes profissionais é a materialização do

conceito de desenvolvimento sustentável abrangendo as dimensões ambiental, econômico e social.

A linguagem e as figuras utilizadas nos slides foram apropriadas para estudantes da faixa etária dos 9 a 10 anos. A apresentação até este momento potencializou a sensibilização dos estudantes visuais e auditivos. Mas a fim de também instigar a sensibilização dos cinestésicos foi realizada a seguir uma atividade prática. A turma foi dividida em sete duplas e um trio, sendo que cada qual recebeu um tipo de resíduo ou rejeito. A partir de então cada dupla ou trio avaliou qual era seu tipo de material e associou com a lixeira respectiva que estava projetada na parede, para qual seu material deveria ser colocado: plástico (vermelha), metal (amarelo), papel e papelão (azul), orgânicos (marrom) e rejeitos (cinza ou preto). Esta atividade estimulou o diálogo, trocas de conhecimento e a consequente conclusão datarefa, enfatizando a separação seletiva.

No terceiro momento, foi proposto que os estudantes se tornassem “Agentes Ambientais por um Dia”. Para o recebimento de tal titulação, os mesmos primeiramente participaram de uma “aula ao ar livre”, com uma visita técnica à área localizada no entorno da escola, onde se encontra um tributário do rio Vacacaí Mirim e parte da linha férrea da Santa Maria-RS (figura 3) a fim de fazerem um diagnóstico ambiental, estimulando seus múltiplos sentidos, especialmente a observação visual e olfativa, e a expressão do senso crítico através de conversação dialogada. Esta atividade prática (extraclasse) potencializou o alcance da meta 4.7, de uma educação voltada à sustentabilidade, pois no trajeto em que muitos destes estudantes passam todos os dias para ir à escola e que para muitos deles era normal, vendo o filme do Wall-e e relacionando com o conhecimento advindo dos slaides perceberam o quão prejudicial ao meio ambiente era esta deposição dos resíduos e rejeitos em locais errados. Esta percepção por consequência, também enfatiza à meta 11.6 sobre a importância das pessoas fazerem a separação seletiva para que a coleta seletiva (recém implantada no município) funcione e quão importante é o trabalho dos catadores (da qual advém a renda para as famílias de vários estudantes da turma) para que a cidade seja sustentável; e por fim levou à meta 12.5 com a reflexão acerca do nosso consumo e produção de resíduos e rejeitos, bem como da necessidade de reduzir, reutilizar e reciclar. Os estudantes também dialogaram sobre o reúso para construção de brinquedos como o Wall-e.

Figura 3 : Visita técnica ao tributário do Rio Vacacaí Mirim e à linha férrea de Santa Maria-RS

Fonte: pelas autoras (2023).

Após este diagnóstico ambiental e conversação dialogada durante a visita técnica, os estudantes voltaram à sala de aula. E então desenvolveram uma atividade artística expressando sua percepção através do desenho (figura 4). Utilizando papel reciclado, lápis de cor e canetinhas, os estudantes, especialmente os cinestésicos, exponenciaram sua criatividade, baseada na sensação de pertencimento ao meio que habitam, expressando suas percepções sobre as desconformidades ambientais observadas, assim como os possíveis impactos que estas desencadeiam ao meio ambiente.

Figura 4: Ilustrações dos dois diagnósticos ambientais realizados por estudantes

Fonte: pelas autoras (2023).

Por fim, com o propósito de propiciar uma tarefa de maior descontração, foi realizado uma oficina de confecção de origamis com papel reciclado. A borboleta, inseto escolhido pelos estudantes para a representação artística, possui destaque no mundo animal em virtude da sua notável capacidade de transformação ao longo de seu ciclo de vida, passando de sua fase pré-larval até o imago, quando se constituem como borboleta de fato, de forma singular. Tendo em vista ainda o seu auxílio na polinização das flores, a dobradura foi colocada como enfeite junto a uma muda de pintaga (*Eugenia uniflora*). Em referência ao bem mais valioso do personagem cinematográfico Wall-e, cada estudante recebeu uma muda de pitanga com a sua borboleta, para ser levado à sua residência. Este conjunto de atividades de educação ambiental desenvolvidas com os estudantes propiciaram o alcance da meta 4.7 da Agenda 2030.

Desse modo a titulação "Agente Ambiental por um Dia", fez-se representada por uma espécie da flora nativa do Rio Grande do Sul e na arte de uma borboleta, símbolo de renovação, palavra essa que deve ser perpetuada pelas futuras gerações, a fim de que cenários como os avistados nas proximidades da Escola e no próprio filme da Disney sejam minimizados; e que a cidade de Santa Maria – RS se torne cada vez mais sustentável, como proferido na meta 11.6 e nossos padrões de consumo e produção cada vez mais busquem menos geração de resíduos e rejeitos, como proposto na meta 12.5 da Agenda 2030.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A agenda 2030 da ONU, através dos ODS e suas metas, instigam a sociedade a refletir sobre as possibilidades e a necessidade de aplicação do conceito de desenvolvimento sustentável nas práticas cotidianas, da escala global à local.

Devido à maleabilidade desta Agenda é que foi possível a proposição deste projeto de educação ambiental, de escala local, para além dos limites da Universidade Federal de Santa Maria, pautado nos ODS/metas 4.7, 11.6 e 12.5, que se conjugam com muitos problemas ambientais tão presentes, como a questão dos resíduos e rejeitos e todo rol de impactos ambientais que tendem a causar, quando deposicionados nos locais incorretos.

A extensão universitária deve exercer sempre que possível, este papel de ligação entre a produção do conhecimento científico e as demandas da sociedade. E no caso do município de Santa Maria, uma demanda premente é a Gestão dos Resíduos e Rejeitos, que passou a disponibilizar parcialmente, para a população, de Coleta Seletiva, através de um programa piloto, chamado de Descarte Legal, instituído em maio de 2023. Mas ainda são necessárias inúmeras ações de educação ambiental a fim de que os munícipes façam a separação seletiva correta nas suas residências, para que a Coleta Seletiva por parte do Poder Público Municipal seja efetiva, as associações de selecionadores de materiais recicláveis e os catadores tenham acesso aos recicláveis separados e a Política Nacional de Resíduos Sólidos seja efetivada no município.

E para que haja engajamento da sociedade local, o trabalho de educação ambiental com os estudantes nas Escolas é uma ferramenta importante, especialmente se a mesma, além dos espaços de aprendizagem em sala de aula, também propicia que os estudantes possam perceber seu espaço vivencial, de através de aulas "ao ar livre" estimulando seus sentidos para uma observação individual e coletiva, onde cada aluno em conformidade com sua percepção: visual, auditiva ou cinestésica seja instigado à reflexões sobre o seu papel cidadão e que suas ações cotidianas fazem toda a diferença. E além disto, a sensibilização

dos estudantes tende a se espraiar para toda comunidade escolar, estimulando mais ações sustentáveis para o Planeta Terra.

Por fim cabe ressaltar, que este projeto de Educação Ambiental pode ser aplicado em turmas do 4º ano de qualquer escola da rede estadual, municipal ou particular, tanto em Santa Maria, quanto em outros municípios, pois a Gestão dos Resíduos e Rejeitos ainda é um desafio para a maioria dos municípios brasileiros.

REFERÊNCIAS

[1] **ABRELPE** - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2021. 2021**.** Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama-2021>. Acesso em: 23/12/23.

[2] **BRASIL**. Lei Nº 9.795, de 27 de abril 1999. Dispõe sobre a educação ambiental, institui aPolítica Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 1999. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9795.htm>. Acesso em: 24/12/23.

[3] DE CARVALHO, Sonia Aparecida. O direito fundamental ao saneamento básico como garantia do mínimo existencial social e ambiental. **Revista Brasileira de Direito**, v. 8, n. 2, p. 6-37, 2012.

[4] ESPEJO, Angela Navarro. **Los Estilos de Aprendizaje em Primaria: visual, auditivo y kinestésico,** n. 75. PublicacionesDidacticas.com, 2016. Disponível em: < Chrome extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://core.ac.uk/download/pdf/235858896.pdf>. Acesso em: 27/12/23.

[5] GOUVEIA, Nelson. Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 17, p. 1503-1510, 2012.

[6] **IBGE** – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Estudo revela 60 anos de transformações sociais no país. Rio de Janeiro: IBGE, 2007. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/13300-asi-estudo-revela-60-anos-de-transformacoes-sociais-no-pais>. Acesso em: 26 dez. 2023.

[7] **NAÇÕES UNIDAS BRASIL**. A Agenda 2030. 2015. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030>. Acesso em: 23/12/23.

[8] **NAÇÕES UNIDAS – ONU NEWS**. Mundo joga um caminhão de lixo, por minuto, nos oceanos, 2023. Disponível em: < https://news.un.org/pt/story/2023/03/1812152 >. Acesso em: 23/12/23.

[9] REINFELD, N. V. **Sistemas de Reciclagem Comunitária**. Traduzido por José Carlos B. dos Santos. São Paulo: Makron Books, 1994.

[10] SCARLATO, F.C., PONTINI, J.A. **Do Nicho ao Lixo: ambiente, sociedade e educação.** São Paulo: Atual, 1992, 117 p.

[11] SOARES, Simaria de Jesus. Pesquisa científica: uma abordagem sobre o método qualitativo. **Revista Ciranda.** Montes Claros, v. 1, n.3, p. 168-180, 2019.

[12] **SINIR** - SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS, 2019. Disponível em: https://sinir.gov.br/paineis/destinacao/. Acesso em: 26 dez.2023.

Capítulo 4

Desafios do descarte de resíduos sólidos: uma análise das políticas públicas e coleta seletiva da cidade de Maringá-PR

Lúcio Paulo Alves Pires
Juliana Saguia de Freitas
Hadassa de Almeida Siqueira Caetano

Resumo: Este artigo investigou o problema do descarte irregular de resíduos sólidos na cidade de Maringá-PR, destacando a ineficácia das políticas públicas de gestão ambiental. A pesquisa identificou lacunas na coordenação das medidas para controle do descarte inadequado, evidenciando a necessidade de uma análise mais aprofundada. Utilizando uma abordagem qualitativa e exploratória, o estudo realizou uma análise de conteúdo das legislações municipais relacionadas ao tema. Os resultados revelaram que, apesar dos esforços da prefeitura em promover a coleta seletiva e a gestão adequada de resíduos, o descarte irregular ainda persiste como um desafio significativo. Como objetivo geral, o artigo buscou desvelar como ocorre o descarte irregular na cidade e identificar possíveis soluções para mitigar esse problema. Como recomendação, propõe-se a implementação de programas educacionais para conscientização da população sobre a importância da gestão adequada de resíduos sólidos, visando promover uma mudança de comportamento e reduzir o descarte irregular.

Palavras chave: Maringá, gestão de resíduos sólidos, coleta seletiva, descarte irregular, políticas públicas.

1. INTRODUÇÃO

A gestão adequada de resíduos sólidos urbanos é essencial para garantir o bem-estar das populações e a preservação do meio ambiente. Em Maringá, cidade conhecida por seu comprometimento com políticas de gestão de resíduos, o descarte irregular ainda persiste como um desafio significativo.

O descarte irregular de resíduos sólidos em áreas urbanas não apenas impacta negativamente o meio ambiente, mas também gera problemas sociais e de saúde pública. A contaminação do solo e da água, a proliferação de vetores de doenças e a degradação visual e ambiental são algumas das consequências desse problema. Além disso, a segregação socioespacial, com áreas mais vulneráveis sendo mais afetadas, acentua as desigualdades e injustiças ambientais.

Diante desse cenário, a coleta seletiva e a aplicação eficaz das medidas legais são fundamentais para combater o descarte irregular de resíduos. A coleta seletiva permite a separação dos resíduos e sua destinação adequada, contribuindo para a redução da quantidade de resíduos destinados aos aterros sanitários e para a promoção da economia circular. No entanto, a eficácia da coleta seletiva depende não apenas da infraestrutura disponível, mas também da participação ativa da comunidade.

Além da coleta seletiva, a aplicação eficaz das medidas legais é essencial para coibir práticas inadequadas de descarte e garantir a responsabilização dos infratores. A legislação ambiental deve ser clara e abrangente, com mecanismos eficazes de fiscalização e punição. No entanto, a eficácia das medidas legais também depende da conscientização da população e da disponibilidade de alternativas viáveis para o descarte adequado de resíduos.

Em relação a abordagem, este artigo adotada para este estudo, uma revisão da literatura para embasar o corpo teórico-metodológico relacionado ao problema do descarte irregular de resíduos sólidos em Maringá. Essa revisão contemplou a análise do Plano Diretor de Maringá (Maringá, 2014), do Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos (Maringá, 2017), do Decreto Municipal 0337/2018 (Maringá, 2018) e da Lei Ordinária 11315/2021 (Maringá, 2021), por meio conduzida de uma abordagem exploratória, a qual busca investigar de forma ampla e não restritiva o tema em questão, proporcionando uma compreensão inicial e geral do problema.

Diante desse contexto, este estudo propõe uma análise da eficiência da coleta seletiva e das medidas legais em Maringá, visando identificar lacunas na execução e coordenação das políticas de gestão de resíduos e propor recomendações para atenuar os impactos ambientais e promover a sustentabilidade na cidade.

O artigo traz consigo como problemática a pesquisa: Qual é a eficácia da coleta seletiva e das medidas de gestão de resíduos sólidos em Maringá-Pr e como elas afetam o descarte irregular na cidade? Como objetivo geral este artigo visa desvelar como ocorre o descarte irregular de resíduos sólidos na cidade de Maringá-Pr, que vem causando impactos ambientais negativos representando uma ameaça à saúde pública; por meio de uma revisão bibliográfica sobre a eficácia da coleta seletiva e das medidas de gestão de resíduos sólidos implementadas na cidade.

O descarte irregular de resíduos sólidos em áreas urbanas é um problema complexo, que envolve questões ambientais, sociais e econômicas. Em Maringá, apesar dos esforços para promover a coleta seletiva e a gestão adequada de resíduos, ainda há desafios a serem superados. A falta de conscientização da população, a ausência de fiscalização adequada e

a falta de infraestrutura são alguns dos fatores que contribuem para a persistência do problema.

Além disso, o descarte irregular de resíduos afeta de forma desigual as diferentes áreas da cidade, agravando as desigualdades socioambientais. As áreas mais vulneráveis são as mais afetadas, o que evidencia a necessidade de políticas públicas mais eficazes e inclusivas.

Diante desse contexto, este estudo se justifica pela necessidade de compreender melhor os desafios enfrentados por Maringá em relação ao descarte irregular de resíduos e propor soluções efetivas e sustentáveis para mitigar esse problema. A análise da eficácia da coleta seletiva e das medidas legais é fundamental para orientar ações futuras e promover uma gestão mais eficiente e responsável dos resíduos sólidos urbanos.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

A gestão adequada de resíduos sólidos urbanos é essencial para garantir o bem-estar das populações e a preservação do meio ambiente. Em Maringá, cidade conhecida por seu comprometimento com políticas de gestão de resíduos, o descarte irregular ainda persiste como um desafio significativo.

A questão do descarte irregular de resíduos sólidos pode ser compreendida como um problema público, pois afeta diretamente o ambiente urbano e a qualidade de vida das pessoas. Conforme destacado por Secchi (2010) e Souza (2006, 2007), o descarte inadequado de resíduos pode gerar impactos ambientais negativos, como a contaminação do solo e da água, a proliferação de vetores de doenças e a degradação visual e ambiental.

Nesse sentido, é fundamental que a gestão de resíduos sólidos considere o descarte irregular como uma questão prioritária, buscando soluções eficazes por meio da coleta seletiva e da aplicação de medidas legais. A coleta seletiva permite a separação dos resíduos e sua destinação adequada, contribuindo para a redução dos impactos ambientais e para a promoção da sustentabilidade urbana.

2.1.PROBLEMA PÚBLICO

As políticas públicas são como uma área interdisciplinar, que tem como objetivo tanto entender as práticas e ações do governo, visando resolver questões públicas, quanto analisar tais ações e, se possível, intervir e sugerir modificações no rumo das medidas tomadas (Secchi, 2010; Souza, 2006; 2007).

Sendo assim, o interesse público deve garantir credibilidade e legitimidade, devendo ser reconhecido pelos partidos, pelas autoridades públicas, pelo público em geral e por determinados “públicos específicos” (Cefai, 2017), entendemos então como o problema público acontece, inicia com um problema atual ou individual que se torna suficientemente relevante para atrair a atenção de um grupo amplo de pessoas, da opinião pública e de autoridades governamentais. Para que determinadas ações e reações não se tornem um problema, é necessário ter uma gestão livre de falhas.

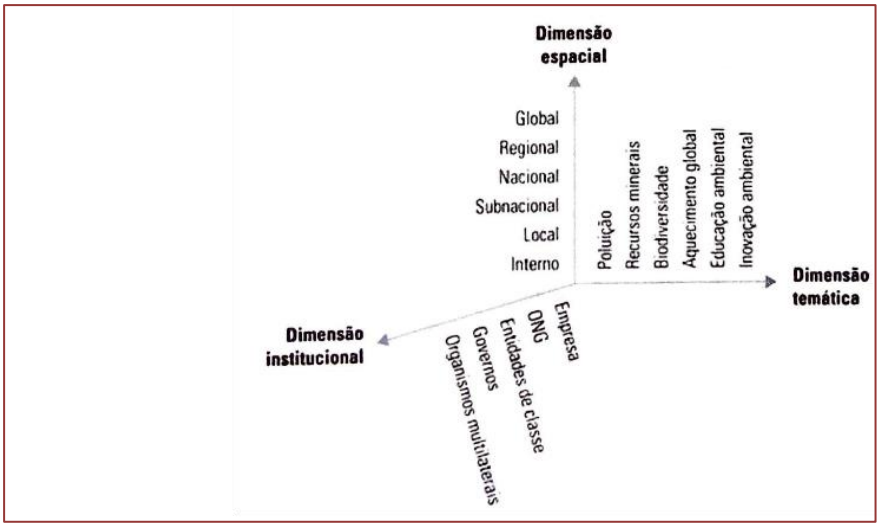
2.2. GESTÃO AMBIENTAL PÚBLICA

A gestão ambiental pública busca estabelecer direções e ações administrativas para obter resultados benéficos ao meio ambiente, minimizando, eliminando ou compensando os impactos ambientais (Barbieri, 2004). Envolve práticas e estratégias adotadas por organizações para reduzir o impacto negativo de suas atividades no meio ambiente e promover a sustentabilidade a longo prazo.

Para que a gestão pública seja correta não se torne um problema público é necessário garantir ações e soluções para determinados problemas, desta forma no âmbito da gestão ambiental pública Barbieri (2004) instrui que, o objetivo de uma boa gestão ambiental está em estabelecer as direções e as ações administrativas, que devem ser executadas por uma instituição para obter resultados benéficos ao meio ambiente, isto é, diminuir, eliminar ou compensar os impactos ambientais resultantes de suas atividades e evitar a ocorrência de possíveis problemas futuros de gestão ambiental.

Barbieri (2004), define a gestão ambiental como um conjunto de práticas e estratégias adotadas por organizações, sejam elas empresas, instituições governamentais ou outras entidades, que têm o objetivo de minimizar o impacto negativo de suas atividades no meio ambiente, e ao mesmo tempo, promover a sustentabilidade a longo prazo, isso é demonstrado conforme três dimensões mostradas na figura a seguir:

Figura 1. Dimensões da Gestão Ambiental e Exemplo



Fonte: Barbieri (2004).

A dimensão temática diz respeito a qual questão sobre gestão se adequa. Já a dimensão institucional engloba os atores que irão gerenciar, e por fim, a dimensão espacial se refere a qual território ocupa, ou seja, um município, bairro, estado, país, entre outros.

Segundo o autor, a gestão ambiental pública envolve a administração, a cargo do governo, da utilização dos recursos naturais, por meio de iniciativas econômicas, alocação de recursos, intervenções institucionais e medidas legais. Seu propósito principal é a preservação ou restauração da qualidade do ambiente, garantindo simultaneamente a produtividade dos recursos e promovendo o progresso social (Barbieri, 2004).

Uma boa organização da gestão ambiental pública, tem em sua dimensão à administração correta dos resíduos sólidos urbanos produzidos pela população, sobre o este assunto de resíduos sólidos, o qual trataremos neste artigo, Rodrigues (1998), explica que a ausência de áreas apropriadas para a disposição final dos resíduos sólidos e dos produtos consumidos agravam problemas ambientais. Por isso, é necessário ter alternativas que reduzam a quantidade de rejeitos destinados aos aterros sanitários. Uma das alternativas, referida pelo autor, é a reutilização dos materiais passíveis de reciclagem e a correta destinação daquilo que não pode ser reaproveitado, bem como a fiscalização dessas práticas e soluções coerentes.

2.3. CONTEXTO SOCIOESPACIAL

No cenário urbano contemporâneo, as disparidades socioespaciais têm se aprofundado, resultando na marginalização das populações de baixa renda para as periferias das cidades. Este processo, influenciado pela valorização da terra nas áreas centrais, perpetua a criação de uma "cidade informal" desprovida de infraestrutura básica e serviços essenciais, conforme destacado por Santos (2009), Dantas, Dantas e Dias (2016) e Mendonça (2004).

Nesse ambiente fragmentado, a falta de infraestrutura urbana contribui para a perpetuação da pobreza e das desigualdades socioespaciais, com impactos negativos no meio ambiente e na qualidade de vida. A ausência de saneamento básico, coleta de resíduos e acesso a serviços de saúde em áreas urbanas vulneráveis, conforme discutido por Silveira (2006) e Salles, Grigio e Silva (2013), acentua os efeitos nocivos ao ambiente, exacerbando as disparidades sociais e ambientais no contexto das cidades.

Nesse contexto, o descarte irregular de resíduos sólidos emerge como um problema agravante, pois as áreas mais vulneráveis são frequentemente as mais afetadas pela prática inadequada de descarte. A falta de coleta regular de resíduos nessas regiões, aliada à ausência de políticas públicas eficazes de educação ambiental e conscientização, contribui para a perpetuação do ciclo de degradação ambiental e exclusão social.

Diante desse cenário, torna-se fundamental que as políticas públicas e a gestão ambiental considerem não apenas a eficiência técnica da coleta e destinação de resíduos, mas também as questões sociais e espaciais que permeiam o problema. A promoção da inclusão social e a redução das disparidades socioespaciais devem ser parte integrante das estratégias para o enfrentamento do descarte irregular de resíduos sólidos, visando não apenas a melhoria do ambiente urbano, mas também a promoção da qualidade de vida e da justiça social

3. METODOLOGIA

A metodologia empregada neste estudo é de natureza qualitativa, seguindo a abordagem proposta por Denzin e Lincoln (2018). O estudo baseia-se em uma revisão bibliográfica que envolve a análise de documentos como o Plano Diretor de Maringá (MARINGÁ, 2014), o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos (MARINGÁ, 2017), o Decreto Municipal 0337/2018 (Maringá, 2018) e a Lei Ordinária 11315/2021(Maringá, 2021).

A pesquisa desenvolve-se como um estudo exploratório, conforme definido por Gil (2002), que busca investigar amplamente um problema para proporcionar uma

compreensão inicial e geral do tema. Neste caso, o problema público em foco é o descarte irregular de resíduos sólidos em Maringá.

Segundo Secchi (2010) e Souza (2006, 2007), problemas públicos são questões que afetam a coletividade e demandam ação governamental para sua solução. Esses problemas surgem quando uma situação atual ou individual se torna relevante o suficiente para atrair a atenção de um grupo amplo de pessoas, da opinião pública e das autoridades governamentais (Cefai, 2017). Neste contexto, o artigo explora as lacunas significativas relacionadas ao descarte irregular de resíduos sólidos, por meio da análise das legislações municipais e estaduais pertinentes. E para esta análise, é conduzido de forma qualitativa, utilizando a análise de conteúdo proposta por Bardin (2016).

A análise de conteúdo, segundo Bardin (2011), é uma técnica de análise das comunicações que procura, através de procedimentos sistemáticos e objetivos de descrição do conteúdo das mensagens, indicadores que permitam a inferência de conhecimentos relativos às condições de produção/recepção dessas mensagens. A análise de conteúdo será realizada a partir de dados, legislações, mapas e fotos disponibilizados nos canais oficiais de comunicação do município de Maringá. Isso inclui o acesso a documentos como o Plano Diretor de Maringá (2014), o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos (2017), o Decreto Municipal 0337/2018 e a Lei Ordinária 11315/2021, que são fontes importantes para compreender as diretrizes e regulamentações relacionadas à gestão de resíduos sólidos na cidade.

Ao analisar as legislações municipais e estaduais, a pesquisa identifica lacunas e inconsistências que possam contribuir para o descarte irregular de resíduos sólidos no município, visando propor recomendações para aprimorar a eficácia das políticas de gestão de resíduos sólidos em Maringá.

Neste sentido, a escolha pela abordagem qualitativa se dá pela complexidade do tema e pela necessidade de compreender as percepções e experiências dos diversos atores envolvidos no processo de descarte de resíduos.

4. ANÁLISE

Diferente de lixo, o resíduo sólido se refere a todo material descartado e rejeitado pela sociedade, por desperdício da população ou pela falta de uma coleta adequada, e de empresas que reciclam os materiais (Cancian, 1981). Conforme o artigo 13º da Lei nº 12.305, de 2010 (Brasil, 2010) que determina o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), por resíduo sólido envolve tudo o que sobra da limpeza urbana, sendo isso de áreas públicas, residenciais, comerciais e industriais, o acúmulo desses resíduos ocasionam risco grave para qualidade ambiental e a saúde como já abordado.

Os resíduos são divididos em duas categorias, sendo a primeira como materiais recicláveis ou secos, e a segunda como rejeitos que não podem ser reaproveitados conforme Monteiro et al (2001).

Conforme o Plano Municipal de Gestão integrada de Resíduos Sólidos Urbanos da Cidade de Maringá (PMGRSU, 2017), a coleta de resíduos comuns, que não são passíveis de reaproveitamento foi terceirizada para a empresa Constroeste Construtora e Participações Ltda no ano de 2016, a empresa fica responsável pela coleta e destinação final desses resíduos. A coleta de animais mortos fica sob responsabilidade da empresa

Servioeste Soluções que presta serviço para a prefeitura. O serviço de coleta da prefeitura não recolhe resíduos oriundos da construção civil (MaringÁ, 2023).

A respeito dos materiais inservíveis (Maringá, 2023), a prefeitura orienta que móveis, eletrodomésticos, colchões e outros inservíveis deve ser solicitado a retirada pelo whatsapp no número (44) 99103-2432, mas a retirada deve acontecer mediante análise, e esse serviço só pode acontecer duas vezes por mês, por residência.

O instituto ambiental de Maringá explica que a destinação correta dos resíduos: sucatas eletrônicas, isopor, gesso, pilhas e baterias, resíduos de vidro, esponjas de limpeza, lâmpadas fluorescentes, óleos de fritura, pneus e medicamentos, devem ser feitos em locais específicos e não é de responsabilidade da prefeitura realizar a coleta destes, mas do cidadão em se deslocar para o descarte (Maringá, 2023).

Os danos ambientais decorrentes do descarte irregular e da decomposição dos resíduos sólidos, resultam em chorume, infiltração e escoamento, favorecendo a contaminação do solo, das águas superficiais e subterrâneas, bem como a proliferação de escorpiões, baratas, mosquitos da dengue em água parada, fungos, bactérias, parasitas, ratos e outros agentes prejudiciais à saúde. portanto, ao realizar a destinação adequada dos resíduos sólidos, simultaneamente estará contribuindo para a redução dos impactos ambientais (Maringá, 2019; 2022)

O programa de coleta seletiva em Maringá, apesar de ter propostas desde 1994, teve início efetivo somente em 2001, com a implementação do plano municipal de gestão dos resíduos sólidos urbanos (PMGIRSU) em 2017. De acordo com a Prefeitura do Município de Maringá (2017), o programa inicialmente abrangeu metade da cidade, mas foi expandido para toda a área urbana, incluindo os distritos, a partir de 2017. No entanto, devido a mudanças de gestão municipal e diferentes perspectivas sobre o tema, o programa passou por várias modificações.

Ao longo do tempo, a coleta seletiva foi conduzida tanto por funcionários públicos quanto por empresas terceirizadas, e os materiais coletados foram direcionados para seis cooperativas parceiras da prefeitura: Cooperpalmeira, Coopermaringá, Coopernorte, Cooperambiental, Coopercanção e Coopervidros. No Município de Maringá-PR, foi estimado a coleta de 310 toneladas diárias de resíduos sólidos urbanos em 2017 (Prefeitura Municipal de Maringá, 2017).

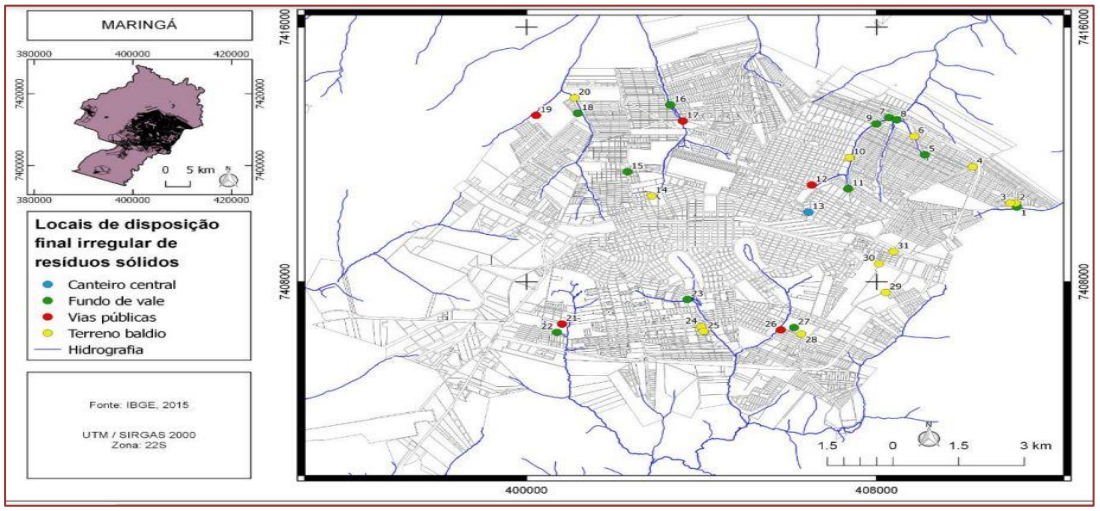
O Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Maringá (IPPLAM) criou em 2023 um mapa interativo que mostra o cronograma de coleta de resíduos orgânicos e recicláveis da cidade, bem como os pontos de coleta de outros resíduos que a prefeitura não recolhe. A região central da cidade conta com a coleta diária, mas nas zonas periféricas a coleta acontece entre duas ou três vezes na semana dependendo da região (Maringá.Com, 2023).

Com base nos dados, verificou-se que diariamente, a cidade de Maringá produz 762 gramas de resíduos sólidos por habitante, dos quais apenas 28 gramas são destinados à reciclagem. Isso significa que 734 gramas por habitante por dia são encaminhados para o aterro sanitário. Apesar da expansão do programa de coleta seletiva em 2017, constatou-se que houve um aumento marginal de apenas 1% após as modificações implementadas em 2018. Portanto, a eficácia da coleta seletiva em Maringá revela-se ineficiente, coletando apenas 4% do total de resíduos sólidos produzidos na cidade (Maringá, 2018).

Além disso, foram identificadas 31 áreas de disposição irregular de resíduos na cidade, principalmente em fundos de vale e terrenos baldios. A disposição inadequada dos

resíduos sólidos é considerada uma deficiência no funcionamento do programa de coleta seletiva.(Maringá, 2018).

Figura 2 – Locais de disposição inadequada de resíduos sólidos em Maringá 2017/2018



Fonte: Rigoldi; Lima (2020).

Para combater essas questões, o decreto municipal de 2018 e a lei ordinária de 2021 foram introduzidos, estabelecendo penalidades rigorosas para o descarte irregular de resíduos e oferecendo canais para denúncias como veremos a seguir. No entanto, a existência dessas medidas legais destaca a persistência do problema e a necessidade de uma revisão abrangente e aprimoramento do programa de coleta seletiva em Maringá.(Prefeitura Municipal de Maringá, 2021)

O Decreto Municipal 0337/2018 (Maringá, 2018) aborda a questão do descarte irregular de lixo ou resíduos e a aplicação de multas para os infratores. O texto destaca a responsabilidade conjunta da Prefeitura de Maringá e da população na manutenção da limpeza da cidade, enfatizando que algumas ações prejudicam o meio ambiente.

A Lei Ordinária 11.315 do ano de 2021 (Maringá, 2021), define a proibição de jogar lixo nas ruas do Município, é proibido descartar lixo em vias públicas, e entende-se por lixo nessa lei qualquer tipo de resíduo sólido ou semi-sólido que ocasione poluição, sujeira, e o desgaste do meio ambiente. Como penalidade dessas atitudes, há advertência, e multa no valor de 100 reais para resíduos menores ou iguais do que uma lata de refrigerante, e em caso de recorrência ou para resíduos maiores que uma latinha de refrigerante no valor de até 70 mil reais. Qualquer pessoa está apta para denunciar desde que tenha provas, e essas sejam denunciadas pela Ouvidoria da prefeitura 156, e a Guarda Municipal, que podem ser contatados diretamente pelo número 153. (Maringá, 2021).

Figura 3 - Descarte irregular de resíduos em áreas públicas

Fonte: Prefeitura Municipal de Maringá (2022).

Figura 4 - Descarte irregular de lixo em terrenos vazios

Fonte: Prefeitura Municipal de Maringá (2022).

Segundo relatório da Prefeitura de Maringá (2022), equipes municipais enfrentam diariamente o desafio de remover toneladas de resíduos descartados irregularmente em diversos locais da cidade, incluindo canteiros, vias e fundos de vale. Com duas equipes e quatro maquinários dedicados exclusivamente a essa tarefa, o último registro indicou a coleta de 45 toneladas de materiais. A administração municipal, em 2022, monitorava aproximadamente 60 desses pontos. (Prefeitura Municipal de Maringá, 2022).

Algumas notícias refletem a situação real sobre o descarte irregular de resíduos, ações da prefeitura e a aplicação das medidas legais na cidade de Maringá a qual serão mencionadas a seguir.

A notícia 1 é do próprio site da prefeitura de maringá (MARINGÁ, 2021) onde a SEMA (Secretaria do meio Ambiente e do Bem Estar Animal, flagrou um descarte irregular de 760 kg e aplicou a multa ao cidadão no valor de R$10 mil reais próximo ao ecoponto do Jardim Piatã no dia 11 de maio de 2021.

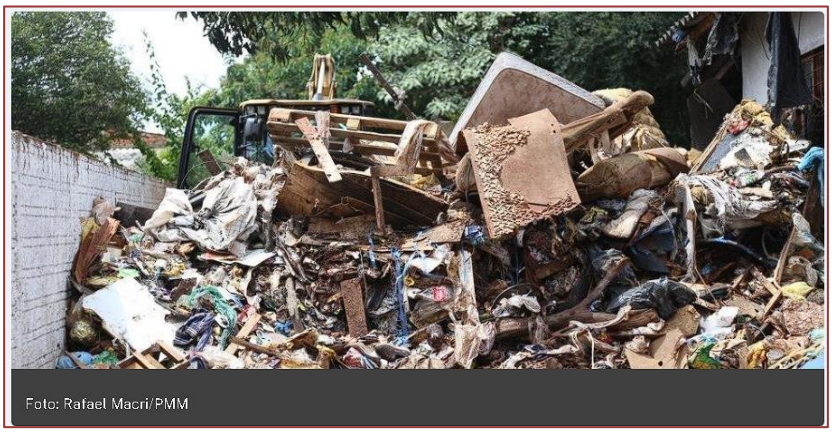
Figura 5 - Flagra de descarte irregular

(43ª SEMAD – Semana do Administrador/UEM – 26/02 a 01/03/2024)

Fonte: Site da Prefeitura de Maringá (2021).

A notícia 2 mostra dados disponibilizados pelo Secretário de Limpeza Urbana, Paulo Gustavo Ribas, para o site GMCOnline que afirmam que a prefeitura monitora 60 pontos de descarte irregular na cidade de Maringá, em que há reincidência de descarte irregular pois população volta a descartar resíduos já que a prefeitura recolhe e não aplica multa ou tenta identificar os autores. Em um dia foram retiradas aproximadamente 21 toneladas de lixo no Jardim Atlanta, no fundo do vale. Para ele, a população deve aprender a jogar lixo no lugar certo (GMCONLINE, 2023), a notícia é do dia 24 de janeiro de 2023.

Figura 6 - Descarte irregular



Fonte: GMCONLINE, 2023.

A notícia 3 é a respeito de moradores denunciarem o descarte ilegal de residuos no antigo aeroporto de Maringá-Pr no dia 11 de outubro de 2023, a prefeitura assumiu responsabilidade do descarte irregular, já que estava utilizando o local como espaço temporário para descarte dos resíduos. (Globo Play, 2023).

Figura 7 - Descarte irregular no antigo aeroporto

Fonte:Globoplay, 2023.

A notícia 4 se encontra no site da prefeitura, e fala que neste ano de 2023 foram aplicadas 5 multas que somam o valor de R$ 2.221.000,00 pela SEMA, e sugere que as pessoas se conscientizem e usem os meios coleta de resíduos ofertados pela prefeitura, e que também denunciem tais atitudes. (Maringa, 2023).

Figura 8 - Multas por descarte

MARINGÁ
PREFEITURA

INSTITUTO AMBIENTAL DE MARINGÁ

Página Inicial Fale Conosco

Notícias em Destaque

Multas por descarte irregular de resíduos somam mais de R$ 2 mi

Manter a cidade limpa é uma responsabilidade que exige ação conjunta da Prefeitura de Maringá com a população, mas infelizmente alguns fatos têm prejudicado o meio ambiente. Nesta semana, por exemplo, um vídeo flagrou uma mulher descartando lixo no canteiro central da avenida Lucílio de Held, no Jardim Alvorada, ilustrando o comportamento ilegal. Após receber a denúncia, fiscais da Secretaria do Meio Ambiente e Bem-Estar Animal (Sema) foram até o local, identificaram a infratora e aplicaram multa no valor de R$ 2 mil. O prazo para pagamento é de 30 dias.

Descarte irregular de lixo ou resíduos é crime passível de multa e denúncias devem ser feitas ao serviço 156 (Ouvidoria Municipal) ou diretamente à Guarda Municipal (153). Os autos de infração ambiental podem ser aplicados no valor mínimo de R$ 2 mil até R$ 500 mil, conforme Art. 38 do decreto municipal 0337/2018. Neste ano, a Sema já aplicou cinco multas por flagrantes por descarte irregular de lixo e resíduos, somando o valor de R$ 2.221.000,00. Dessas, três são sobre lixo, sendo o valor de R$ 21 mil.

O problema do descarte irregular de bens inservíveis como móveis, pneus, utensílios domésticos, entre outros, e lixo em locais públicos (canteiros, praças, fundos de vales e parques) é um problema cuja solução passa não apenas pela conscientização do cidadão quanto a impropriedade do ato, mas principalmente pela participação das pessoas. Em Maringá, há pontos de coletas de lâmpadas fluorescentes, óleo de cozinha usado, coleta seletiva de resíduos recicláveis, vidros e outros.

A Prefeitura alerta que flagrantes devem ser feitos por imagens (fotos ou vídeos), pois o documento visual é fundamental para identificação do infrator. A Secretaria do Meio Ambiente notifica o infrator na sequência e orienta os procedimentos para regularização da situação. Informações de locais para descarte regular de resíduos podem ser acessadas no site da Prefeitura http://www2.maringa.pr.gov.br/site/ ou na sede da Secretaria do Meio Ambiente (Av. Cerro Azul, 544 - Zona 2 - (44) 3293-8750.

Fonte: Site Prefeitura de Maringá, 2023.

5. INEFICÁCIA DAS MEDIDAS DE FISCALIZAÇÃO E CONSCIENTIZAÇÃO DA PREFEITURA

A análise revela que as medidas adotadas pela prefeitura de Maringá para fiscalizar e conscientizar a população sobre o descarte irregular de resíduos sólidos têm se mostrado ineficazes. A prefeitura depende principalmente de denúncias para multar infratores, porém, há evidências de que a própria prefeitura descarta resíduos de forma incorreta quando lhe convém. Apesar de monitorar os pontos críticos da cidade e solicitar que a população forneça provas de descarte irregular, não são evidentes esforços significativos para penalizar os infratores ou promover a conscientização sobre o descarte correto.

As pessoas continuam a descartar resíduos nos mesmos locais, demonstrando reincidência, uma vez que a prefeitura simplesmente recolhe os resíduos sem aplicar medidas efetivas para interromper esse comportamento. Além disso, há uma disparidade significativa entre o valor das multas aplicadas e a quantidade de resíduos sólidos irregulares recolhidos. Isso sugere que os esforços da prefeitura não são suficientes para dissuadir o descarte irregular, e as medidas punitivas em vigor deveriam ser aplicadas com maior rigor.

Apesar das medidas legais introduzidas pelo município de Maringá, como o Decreto Municipal 0337/2018 e a Lei Ordinária 11315/2021, para combater o descarte irregular

de resíduos sólidos, a persistência desse problema sugere que tais medidas podem não estar sendo eficazes por diversas razões específicas ao contexto local.

Fiscalização Insuficiente: A prefeitura depende principalmente de denúncias para identificar e multar infratores, o que pode indicar uma falta de recursos ou pessoal para uma fiscalização mais abrangente e eficaz. Sem uma fiscalização consistente, os infratores podem não ser identificados e punidos, o que contribui para a impunidade e a perpetuação do descarte irregular.

Conscientização da População: Apesar de existirem leis e penalidades, muitas pessoas podem não estar cientes das consequências do descarte irregular ou simplesmente ignoram as leis devido à falta de conscientização. É possível que a prefeitura não esteja realizando campanhas de educação ambiental e conscientização da população de forma eficaz para promover uma mudança de comportamento.

Dificuldade de Implementação: A implementação efetiva das leis pode enfrentar obstáculos logísticos, administrativos ou políticos específicos ao contexto municipal. Isso pode incluir questões como a falta de estrutura adequada para lidar com o descarte de resíduos, a resistência de certos setores da sociedade à mudança de comportamento ou a falta de coordenação entre os órgãos responsáveis pela implementação das leis.

Desafios Estruturais: O descarte irregular de resíduos em Maringá pode estar relacionado a questões estruturais mais amplas, como a falta de infraestrutura adequada de coleta e tratamento de resíduos em determinadas áreas da cidade. A segregação socioespacial também pode limitar o acesso a serviços básicos, contribuindo para o descarte inadequado de resíduos.

Necessidade de Avaliação Contínua: As leis e políticas relacionadas ao descarte de resíduos em Maringá podem precisar de revisão e atualização periódicas para garantir sua eficácia e abordar os desafios em constante evolução associados ao descarte de resíduos. A prefeitura deve estar aberta a ajustes e melhorias conforme necessário.

Esses desafios destacam a importância de uma análise crítica das medidas de fiscalização e conscientização adotadas pela prefeitura de Maringá para lidar com o descarte irregular de resíduos sólidos. A ineficácia dessas medidas pode ser um reflexo das lacunas e desafios específicos ao contexto local, que devem ser identificados e abordados de forma efetiva para promover uma gestão adequada dos resíduos sólidos na cidade.

É fundamental que a prefeitura demonstre de forma clara para a população que o descarte irregular de resíduos é considerado crime, sujeito a multa. Ações mais eficazes de fiscalização e punição são necessárias para combater esse problema de forma mais efetiva. Além disso, a conscientização da população sobre a importância do descarte adequado de resíduos deve ser intensificada, a fim de promover uma mudança de comportamento e reduzir a ocorrência de descarte irregular na cidade.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo abordou o problema público do descarte irregular de resíduos sólidos na cidade de Maringá, evidenciando suas consequências negativas, como a infestação de doenças e a degradação do ambiente urbano. Apesar dos esforços da prefeitura em expandir e reforçar o programa de coleta seletiva por meio de decretos municipais e leis ordinárias, a quantidade de resíduos descartados de forma inadequada ainda é significativa, indicando a persistência do problema.

Uma das principais conclusões do estudo é a ineficácia das medidas de fiscalização e conscientização da prefeitura. A dependência de denúncias para identificar infratores, a falta de conscientização da população e os desafios na implementação das leis são fatores que contribuem para a continuidade do descarte irregular.

Embora o programa de coleta seletiva tenha sido expandido e reforçado com decretos municipais e leis ordinárias, a quantidade de resíduos descartados de forma inadequada ainda é significativa. Os registros de remoção de toneladas de resíduos descartados irregularmente continuam a aumentar, sugerindo que a conscientização e a aplicação das leis podem não estar sendo eficazes o suficiente para reduzir substancialmente o descarte irregular na cidade.

A inobservância do Plano Diretor de Maringá (Maringá, 2014), do Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos (Maringá, 2017) e da Lei Ordinária 11315/2021 (Maringá, 2021) de Maringá que estabelecem diretrizes para a proteção ambiental, é uma preocupação relevante nesse contexto. Portanto, uma melhoria significativa na educação ambiental e na eficácia do programa de coleta seletiva teria um impacto direto na qualidade ambiental dessas áreas em Maringá juntamente com uma eficiência na abordagem das denúncias realizadas pela população e na aplicação de multas pela prefeitura, para que lacuna na execução e coordenação das medidas para controle do descarte inadequado de resíduos sólidos seja reduzida ou até mesmo extinta.

Diante desse cenário, recomenda-se a implementação de programas educacionais abrangentes, o reforço na fiscalização, o incentivo à reciclagem, parcerias com o setor privado e ONGs, e a melhoria da infraestrutura de coleta. Essas medidas podem contribuir significativamente para reduzir o descarte irregular de resíduos sólidos em Maringá e promover uma gestão mais adequada desses resíduos.

Como sugestão para novas pesquisas, destaca-se a importância de avaliar continuamente a eficácia das medidas propostas e identificar novas estratégias para combater o descarte irregular. Além disso, é fundamental investigar a relação entre o descarte irregular de resíduos sólidos e outras questões urbanas, como a qualidade de vida da população e a sustentabilidade ambiental da cidade.

Em suma, é necessário um esforço conjunto da prefeitura, da população e de outros atores envolvidos para promover uma mudança de comportamento e reduzir o descarte irregular de resíduos sólidos em Maringá. A implementação de medidas eficazes e sustentáveis é fundamental para garantir um ambiente urbano saudável e sustentável para as gerações futuras.

REFERÊNCIAS

[1] ARCILA, R. I. A. (2008). **Panorama dos resíduos sólidos urbanos nos municípios de pequeno porte do Brasil.** Dissertação (Mestrado) -Curso de Desenvolvimento em Meio Ambiente, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

[2] BRASIL. (2010). Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos**; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Acesso em: 14 de outubro de 2023. Disponível em <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>

[3] BARBIERI, José Carlos. **Gestão Ambiental empresarial: conceitos, modelos e instrumentos.** São Paulo: Editora Saraiva, 2004.

[4] CANCIAN, N. A. **Cafeicultura paranaense (1900-1970)**. Curitiba: Grafipar Secretaria de Estado

da Cultura e do Esporte, 1981.

[5] CEFAI, Daniel. **Públicos, problemas públicos, arenas públicas:** O que nos ensina o pragmatismo (parte I). Novos Estudos Cebrap, São Paulo, vol. 36, n. 1, pp.187-213, 2017.

[6] DANTAS, F. D. M.; DANTAS, L. D. M.; DIAS, L. S. O. F. **O impacto da expansão urbana para o meio ambiente.** In: V congresso em desenvolvimento social: estado, meio ambiente e desenvolvimento, 2016, Montes Claros. Anais do V congresso em desenvolvimento social: estado, meio ambiente e desenvolvimento: Montes Claros: 2016, p. 5-12

[7] DANTAS, E. F.; DANTAS, T. S.; DIAS, E. S. As cidades informais brasileiras e a precariedade habitacional. In: CONGRESSO NACIONAL DE ESTUDOS URBANOS, 7., 2016, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: UFRJ, 2016.

[8] ECYCLE. **Resíduos Sólidos Urbanos: O que são e legislação.** Acesso em: 2 de setembro de 2023. Disponível em:<https://www.ecycle.com.br/residuos-solidos/>

[9] GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. Editora Atlas, 2002

[10] GLOBOPLAY. **Moradores reclamam de descarte no antigo aeroporto de Maringá - 10/10/2023.** Meio dia Paraná. Acesso em 15 de outubro de 2023. Disponível em:<https://globoplay.globo.com/v/12016356/>.

[11] LIMA, J. E. S. (2010). (Org.). **Políticas Públicas e indicadores para o desenvolvimento sustentável.** 1 ed. São Paulo: Saraiva, v. 1, p. 35-54

[12] MARINGÁ.COM. **Veja o cronograma da coleta de lixo convencional em cada região de Maringá.** Gabrielle Nascimento. Maringá-PR. 04/08/2023. Acesso em: 15 de outubro de 2023. Acesso em: <https://noticias.maringa.com/25764/veja-o-cronograma-da-coleta-de-lixo-convencional-em-cada-regiao-de-maringa#:~:text=Foto%3A%20Reprodu%C3%A7%C3%A3o.,semanal%20de%20segunda%20%C3%A0%20s%C3%A1bado.>

[13] MARINGÁ, DECRETO N°0337/2018 **Dispõe sobre as infrações e sanções administrativas ao meio ambiente; Estabelece o processo administrativo municipal para apuração destas infrações, e dá outras providências**. Disponível em: <http://www.maringa.pr.gov.br/sistema/arquivos/2d19d3d8edcb.pdf>. Acesso em: 14 de outubro de 2023.

[14] MARINGÁ. LEI Nº 11.3115. **Dispõe sobre a proibição de jogar lixo nas vias públicas do Município e dá outras providências.** Maringá, 2021. Disponível em: <http://leismunicipa.is/zcpdh> Acesso em: 14 de outubro de 2023.

[15] MENDONÇA, M. L. Cidade e Urbanização: Espaços, Tempos e Escalas. Rio de Janeiro: Consequência, 2004.

[16] PREFEITURA MUNICIPAL DE MARINGÁ. **Multas por descarte irregular de resíduos somam mais de R$ 2 mi.** Acesso em 15 de outubro de 2023. Disponível em: <http://www.maringa.pr.gov.br/meioambiente/?cod=noticias/35079#:~:text=Descarte%20irregular%20de%20lixo%20ou,%24%20500%20mil%2C%20conforme%20Art.

[17] PREFEITURA MUNICIPAL DE MARINGÁ. **Plano Municipal De Gestão Integrada De Resíduos Sólidos Urbanos**. Maringá-Pr, 2017. Acesso: 15 de Outubro de 2023. Disponível em: <http://www.maringa.pr.gov.br/cdn-imprensa/residuos.pdf>

[18] PREFEITURA MUNICIPAL DE MARINGÁ. **Prefeitura orienta sobre descarte de materiais inservíveis. Secretaria de Comunicação.** Maringá-Pr. Acesso: 15 de outubro de 2023. Acesso em: <http://www.maringa.pr.gov.br/site/noticias/2023/10/13/prefeitura-orienta-sobre-descarte-de-materiais-inserviveis/41758>

[19] PREFEITURA MUNICIPAL DE MARINGÁ. **Prefeitura recolhe 45 toneladas de materiais em apenas um local com descarte irregular; comunidade pode denunciar.** Disponível em:: <http://www.maringa.pr.gov.br/site/index.2017.visualizar-noticia.php/2022/12/21/prefeitura-recolhe-45-toneladas-de-materiais-em-apenas-um-local-com-descarte-irregular-comunidade-pode-denunciar/40881>. Acesso em 15 de outubro de 2023

[20] PREFEITURA MUNICIPAL DE MARINGÁ. Murilo Saldanha. **Prefeitura recolhe cerca de 400**

toneladas de materiais inservíveis neste ano com a Central Maringá Cidade Limpa. PMM. Maringá-Pr. Acesso em: 15 de outubro de 2023. Disponivel em:<http://www.maringa.pr.gov.br/site/index.2017.visualizar-noticia.php/2022/06/14/prefeitura-recolhe-cerca-de-400-toneladas-de-materiais-inserviveis-neste-ano-com-a-central-maringa-cidade-limpa/39989#:~:text=Para%20facilitar%20o%20descarte%20correto,objetos%20por%20meio%20do%20WhatsApp.>

[21] PREFEITURA DE MARINGÁ. **Prefeitura promove ações para preservar fundos de vale.** Diretoria de comunicação. Maringá-Pr. Acesso em 15 de Outubro de 2023. Disponível em: <http://www.maringa.pr.gov.br/site/noticias/2022/04/19/fundo-de-vale-volta-a-ter-descarte-irregular-em-menos-de-48h-apos-limpeza-da-prefeitura-de-maringa/39674>

[22] PREFEITURA DE MARINGÁ. **Após descarte irregular de volumosos e resíduos, veículo é identificado e proprietário autuado.** Diretoria de comunicação. Maringá-Pr. 11 de maio de 21. Acesso em: 15 de outubro de 2023. Disponível em: <http://www.maringa.pr.gov.br/site/noticias/2021/05/11/apos-descarte-irregular-de-volumosos-e-residuos-veiculo-e-identificado-e-proprietario-autuado/37577>

[23] RIGOLDI, K. C.; LIMA, V. . **A INFLUÊNCIA DA GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NA QUALIDADE AMBIENTAL E NAS DESIGUALDADES SOCIOESPACIAIS DE MARINGÁ – PR**. Brazilian Geographical Journal, Ituiutaba, v. 11, n. 1, p. 85–96, 2020. Disponível em: https://seer.ufu.br/index.php/braziliangeojournal/article/view/55724. Acesso em: 15 out. 2023

[24] RODRIGUES, Arlete Moysés. **Produção e consumo do e no espaço: Problemática ambiental urbana.** São Paulo: Hucitec, 1998.

[25] SANTOS, M. A urbanização brasileira. São Paulo: Editora USP, 2009.

[26] SALLES, M. C. T.; GRIGIO, A. M.; SILVA, M. R. F. da. **Expansão urbana e conflito ambiental: uma descrição da problemática do município de Mossoró**, RN – brasil. Soc. & Nat., Uberlândia, 25 (2): 281-290,mai/ago/2013

[27] SANTOS, M. **A urbanização brasileira**. 5 ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2009

[28] SECCHI, Leonardo. **Políticas Públicas: Conceitos, Esquemas de Análise, Casos Práticos.** São Paulo: Cengage Learning, 2010.
SILVEIRA, M. L. B. Saneamento ambiental: conceitos básicos e aplicação. 2. ed. São Paulo: ABES, 2006.

[29] SILVEIRA, M. L. **Por que há tantas desigualdades sociais no Brasil? Um panorama da riqueza e da pobreza brasileira.** In: ALBUQUERQUE, E. S. de. (Org.). Que País é esse? Pensando o Brasil contemporâneo. São Paulo: Globo, 2006, p. 151

[30] SOUZA, Celina. In : HOCHMAN, Gilberto; ARRETCHE, Marta; MARQUES, Eduardo. **Políticas públicas no Brasil.** SciELO-Editora FIOCRUZ, 2007.

[31] SOUZA, Celina et al. **Políticas públicas: uma revisão da literatura**. Sociologias, v. 8, n. 16, p. 20-45, 2006.

[32] SPINK, M. J.; SPINK, P. Manual de Pesquisa Qualitativa em Ciências Sociais. 5. ed. Petrópolis: Vozes, 2000.

Capítulo 5

Um estudo sobre as relações de pertencimento entre os moradores do entorno e a Área de Proteção Ambiental do Itapiracó, Maranhão, Brasil

Jéssica Cristine Costa Carvalho
Carlos Erick Brito de Sousa

Resumo: As relações de pertencimento são alicerçadas quando as pessoas se reconhecem como parte integrante de um lugar. Nessa perspectiva, este estudo buscou analisar as relações de pertencimento entre os moradores de bairros do entorno e a Área de Proteção Ambiental (APA) do Itapiracó, no estado do Maranhão, Brasil. O contexto foi analisado por meio do critério de observação, verificando as relações entre as pessoas e o ambiente, bem como as atividades realizadas no local. Após a observação, foram selecionados, de modo aleatório, 15 moradores do entorno, os quais assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, responderam a um formulário socioeconômico e participaram de entrevista semiestruturada. Durante o estudo, foi possível notar que existe relação de pertencimento entre os moradores e a APA, visto que foram atribuídas emoções, sentimentos e sensações positivas com relação à APA do Itapiracó, tais como alegria, paz, conforto, tranquilidade, felicidade e bem-estar. Os moradores investigados também perceberam algumas problemáticas socioambientais naquele espaço e reconheceram que suas atitudes podem influenciar positiva ou negativamente no meio. Nesse sentido, a implementação de projetos de educação ambiental para a comunidade é uma das medidas que poderiam fortalecer tanto as relações de pertencimento como a conservação ambiental.

Palavras-chave: Relações de pertencimento, Meio ambiente, Conservação ambiental.

1. INTRODUÇÃO

A Área de Proteção Ambiental (APA) do Itapiracó consiste em uma unidade de conservação de uso sustentável, localizada entre os municípios de São Luís e São José de Ribamar, no Maranhão. O entorno dessa unidade de conservação é densamente povoado, apresentando bairros e conjuntos habitacionais, tais como Ipem Turu, Cohab Anil, Cohatrac, Parque Vitória, Residencial Matões e Terra Livre. Ao longo dos anos, a expansão urbana no entorno dessa área protegida se intensificou.

Assim, a APA do Itapiracó compreende a um fragmento do bioma amazônico, com uma área de 322 hectares registrados (MARANHÃO, 1997), em que recentemente foi construído um complexo de lazer e esporte para a população em parte dessa área. O Complexo da APA do Itapiracó contém diversos espaços como pistas de caminhada, trilhas, circuito de skate, praças, playgrounds infantis, academias ao ar livre, quadras poliesportivas e de vôlei de areia.

Diversas problemáticas socioambientais foram verificadas e registradas na literatura sobre os agravos à APA do Itapiracó, tais como o desmatamento e o acúmulo de resíduos sólidos, entre outros (Mafra; Lima; Diniz, 2010; Bittencourt et al., 2012; Pinheiro; Teixeira; Caldas, 2014; Pantoja, 2017). Essas problemáticas representam o reflexo de comportamentos, atitudes, valores e concepções humanas frente ao ambiente. Nessa interação entre os seres humanos e o meio, as relações de pertencimento constituem fator importante para proteção e cuidado com o ambiente.

Nessa perspectiva, Moriconi (2014, p. 14) define pertencimento como:

> [...] é quando uma pessoa se sente pertencente a um local ou comunidade, sente que faz parte daquilo e consequentemente se identifica com aquele local, assim vai querer o bem, vai cuidar, pois aquele ambiente faz parte da vida dela, é como se fosse uma continuação dela própria.

Por conseguinte, as relações de pertencimento ocorrem por meio da interação das pessoas com o ambiente, em que são estabelecidas relações de convivência com as outras pessoas e os diversos elementos que compõem o meio. Logo, quando uma pessoa interage com o ambiente, representações sobre o lugar são construídas em sua mente, constituindo lembranças de suas experiências no meio e conferindo-lhes significados. O lugar ganha um sentido para a pessoa, que passa a atribuir emoções, valores, aspirações e saberes ao significado construído.

A produção de um sentimento de pertencimento em relação ao lugar é intrínseca aos seres humanos, manifestando-se de forma subjetiva para cada indivíduo. Nesse sentido, Moreira e Hespanhol (2008, p. 52) argumentam:

> O lugar seria o centro de valores indispensáveis para nossa identidade (...) O indivíduo pode residir em uma casa por longo período, mas não criar vínculos com o lugar. O mesmo ocorre com aqueles indivíduos que mudam para outra cidade, mas guardam o sentimento de pertencimento com a anterior. A experiência necessita de tempo, mas ele não é o único elemento.

Dessa forma, as relações de pertencimento se expressam na valorização do ambiente, no reconhecimento das atitudes humanas e na sensibilidade aos problemas percebidos. O ambiente compreende a um espaço de construção social, marcado por um contínuo processo de mudanças históricas e culturais. Então, o sentimento de pertencimento pode impulsionar o diálogo, a reflexão, o respeito e a responsabilidade na busca por cuidado e proteção ao ambiente.

Estudos sobre as relações de pertencimento podem auxiliar na compreensão das relações entre seres humanos e o ambiente, possibilitando reflexões sobre os valores e as atitudes humanas diante das diversas circunstâncias que atuam no meio. Nessa perspectiva, a finalidade deste estudo consiste em analisar as relações de pertencimento entre os moradores pesquisados e a APA do Itapiracó.

2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Esta pesquisa caracteriza-se por apresentar uma abordagem qualitativa, adquirindo a forma de um estudo de caso. Para Minayo, Deslandes e Gomes (2016), a pesquisa qualitativa trabalha aspectos humanos que não podem ser meramente quantificados tais como valores, emoções, sentimentos e atitudes.

Desse modo, o estudo com seres humanos necessita de uma análise profunda das variáveis qualitativas. Entre os tipos de pesquisa qualitativa, o estudo de caso decorre de uma interpretação científica que busca compreender determinada situação específica (Yin, 2014). No caso do presente estudo, trata sobre a relação de pertencimento de moradores do entorno com a área de proteção ambiental do Itapiracó.

Segundo Souza Filho (2013), na coleta de dados, a compreensão do fenômeno precisa ser realizada por meio da observação, devido ao fato de que, nesta etapa, ainda não se pode falar em causa e efeito, mas da interação entre elementos da realidade a ser estudada. Dessa maneira, "o método de observação sistemática serve de pré-requisito para qualquer passo à frente no campo, que é mais adotado pelos estudiosos do mundo" (Reis; Bellini, 2011, p.153). Considerando todos estes aspectos, o primeiro passo para a realização da pesquisa foi a observação do contexto em análise, verificando as relações das pessoas com o ambiente e as atividades realizadas no local.

Após a observação, foram selecionados de forma aleatória 15 moradores do entorno da APA do Itapiracó, maiores de 18 anos. O Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) foi assinado pelos participantes. Em seguida, os moradores pesquisados responderam a um formulário socioeconômico, para melhor caracterização de seus perfis sociais e relações com a APA. E, questões sobre a relação de pertencimento foram abordadas em entrevistas semiestruturadas, realizadas individualmente com cada morador convidado para a pesquisa. Todas estas etapas foram realizadas nos próprios bairros do entorno da APA.

A análise do formulário socioeconômico possibilitou a construção do perfil dos moradores entrevistados. Para a elaboração e análise desse perfil, os dados socioeconômicos tais como o sexo, faixa etária do grupo, cor de pele autodeclarada, estado civil, número de filhos, condições de escolaridade, tempo, situação de moradia foram levados em consideração. A análise das respostas fornecidas em entrevista ocorreu com base em Fairclough (2019), que propõe o modelo de análise crítica do discurso.

3. O PERFIL DOS MORADORES

Uma densa população mora nos diversos bairros do entorno da APA do Itapiracó. Visto que esta pesquisa não visa quantidade, mas qualidade das informações coletadas e analisadas, foram selecionadas de forma aleatória 15 moradores provenientes dos bairros do Ipem Turu, Cohab Anil, Cohatrac, Parque Vitória, Matões Turu, Canudos e Terra Livre. Participaram 8 mulheres e 7 homens, com faixa etária entre 20 e 69 anos. A maioria se autodeclarou parda.

Nesta pesquisa, houve uma diferença pequena entre casados e solteiros entrevistados. Quando questionamos sobre "com quem você mora atualmente", a maioria respondeu que convive com o companheiro e os filhos. Com a média aproximada de 21 anos de permanência na área (Quadro 1), os moradores tiveram a oportunidade de presenciar muitas mudanças na região ao longo do tempo, tal como a contínua urbanização e expansão demográfica.

Quadro 1 - Tempo de permanência dos moradores entrevistados

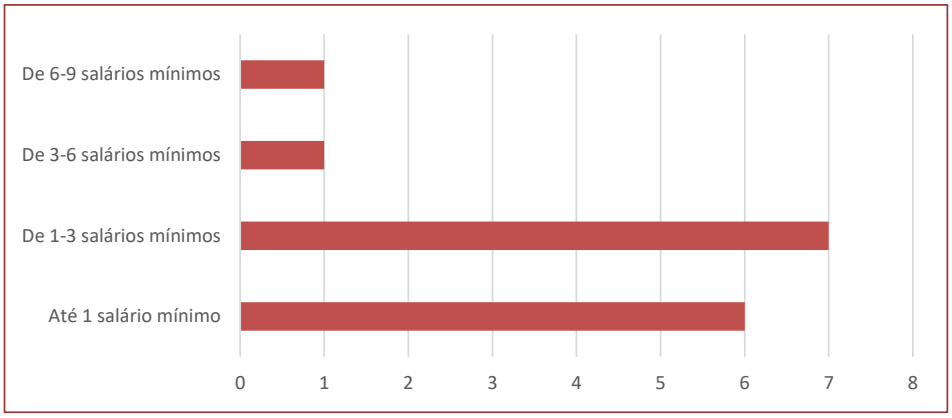
Entrevistado	Tempo informado	Local do Entorno da APA
E01	21 anos	Ipem Turu
E02	25 anos	Ipem Turu
E03	23 anos	Ipem Turu
E04	39 anos	Ipem Turu
E05	38 anos	Ipem Turu
E06	5 anos	Canudos
E07	20 anos	Terra Livre
E08	19 anos	Terra Livre
E09	13 anos	Parque Vitória
E10	39 anos	Matões Turu
E11	14 anos	Parque Vitória
E12	20 anos	Cohab Anil
E13	11 anos	Cohab Anil
E14	27 anos	Cohab Anil
E15	2 meses	Cohatrac
Média	20, 9 anos	

Fonte: Autoria própria.

Em uma mesma residência, vivem cerca de quatro a sete pessoas por moradia. Geralmente, uma moradia que apresenta muitas pessoas vivendo conjuntamente no mesmo espaço requer uma renda familiar maior que deve ser compartilhada entre os membros da família. Na realidade do Brasil, moradias com mais de dez pessoas geralmente estão na linha da pobreza por diversos fatores socioeconômicos, os quais incluem as poucas oportunidades de trabalho, educação, saúde e habitação. Em contrapartida, moradias com famílias muito pequenas entre duas a três pessoas comumente possuem melhores condições financeiras.

A renda familiar predominante nesse grupo compreende a uma faixa de um a três salários mínimos (Figura 1). Comparando os dados com as cinco faixas de salários mínimos, utilizados com base em pesquisas do IBGE (2017), que determinam uma classe social, a renda familiar do grupo se enquadra principalmente nas classes D e E.

Figura 1 - Perfil dos Entrevistados quanto a renda familiar

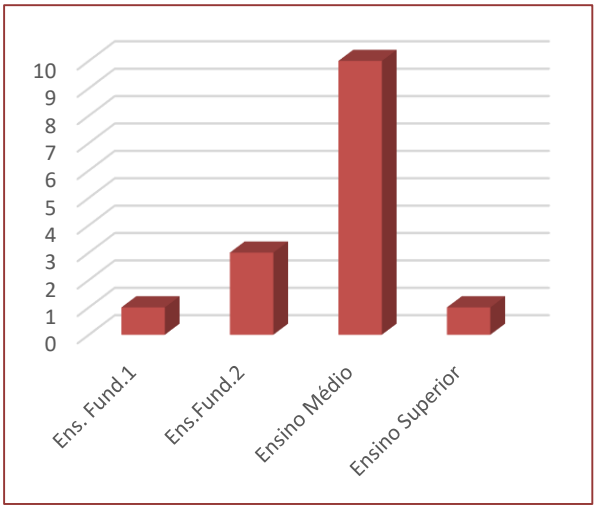


Fonte: Autoria própria.

Um dos fatores socioeconômicos fundamentais que geram uma má distribuição de renda na população compreende a diferença das oportunidades de educação e trabalho. O nível de escolaridade está intimamente ligado à renda, pois o mercado de trabalho exige cada vez mais uma mão de obra especializada que atenda suas exigências no mundo capitalista.

Na presente pesquisa, a maioria dos moradores entrevistados apresenta ensino médio completo (Figura 2). Durante o levantamento, não houve registros de indivíduos que nunca estudaram e nem casos de pessoas que completaram os níveis de especialização, mestrado e doutorado. Neste levantamento com os moradores do entorno da APA do Itapiracó, observou-se que a maioria estudou somente em escola pública, no ensino regular. Os dados levantados indicam a presença de uma geração que teve acesso à educação, mas ainda precisa vencer os obstáculos que dificultam, de certa forma, avanços aos demais níveis de instrução.

Figura 2 - Perfil dos Entrevistados quanto ao grau de instrução



Fonte: Autoria própria.

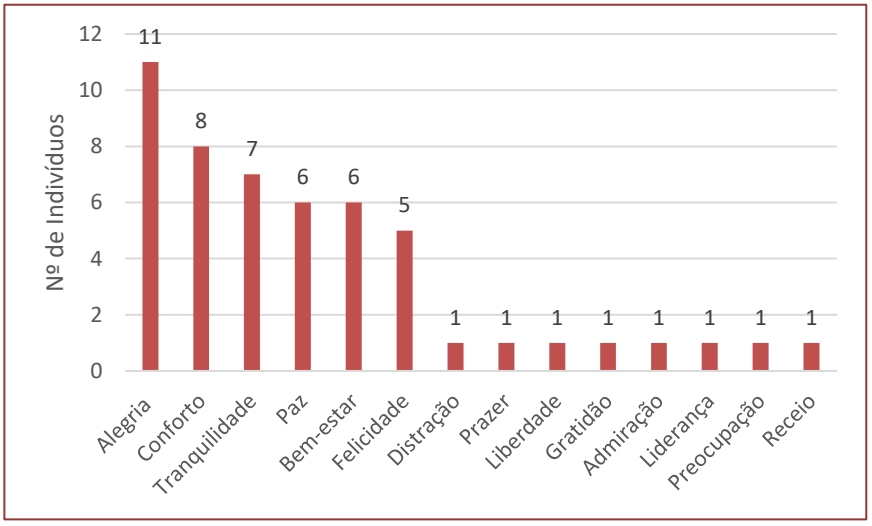
Considerando que este grupo também pertence a um grupo maior de brasileiros e que o contexto social tem influência significativa na situação de cada indivíduo, é possível comparar os dados da pesquisa com a situação do país. Dados do IBGE (2017, p. 98) indicam que "o nível de instrução mais frequente passou a ser o médio completo e superior incompleto para a geração mais nova ao invés de fundamental incompleto para a geração mais velha".

A popularização do ensino com a expansão no mercado e a queda dos custos pessoais em educação possibilitou este avanço ao longo do tempo. Apesar desses avanços, o quadro atual de educação é preocupante. Notícias (Pina, 2017; Ramal, 2018) discutem sobre taxas elevadas de abandono escolar em um país com cortes do orçamento governamental em investimentos para educação.

4. AS RELAÇÕES DE PERTENCIMENTO DOS MORADORES COM A APA DO ITAPIRACÓ

As relações de pertencimento costumam se estabelecer quando os indivíduos se identificam com o local e criam representações positivas sobre o ambiente. Durante o estudo, foi possível notar que existe sim uma relação de pertencimento. Emoções, sentimentos e sensações positivas foram atribuídas à APA do Itapiracó tais como alegria, paz, conforto, tranquilidade, felicidade e bem-estar (Figura 3):

Figura 3 - Emoções, sentimentos e sensações relatados na pesquisa



Fonte: Autoria própria.

Para os moradores investigados, essa unidade de conservação representa um espaço de lazer para praticar esporte e caminhada, a busca por uma vida saudável, um local de reunião familiar, um lugar agradável de paz interior e reflexão. A APA do Itapiracó também ganhou atributos de uma espécie de mãe, que protegeria e acolheria seus filhos.

Os moradores pesquisados reconheceram a importância da área em que vivem e relataram o bem-estar em permanecer no local, que lhes proporcionaria tranquilidade. Destarte, em uma área de grande relevância biológica e social, a relação de pertencimento da comunidade local torna-se essencial na busca pela manutenção da unidade de

conservação. Nesse sentido, autores como Pieper, Belhing e Domingues (2014, p. 4) discutem sobre a relação de pertencimento das comunidades locais:

> Nos processos pela manutenção de unidades de conservação, encontramos testemunhos desse sentimento, haja vista que os saberes de seus integrantes e seu modo de vida foram obtidos e desenvolvidos naquele lugar. Dessa forma, conseguem formar um consenso de que, para ajudar na conservação da comunidade, precisam sentir-se e ser reconhecidos como parte integrante do todo, como "pertencendo" aquela região, cujas condições e peculiaridades, conhecem e aprenderam a respeitar e assim permitir a continuidade da vida local.

Durante a entrevista, os moradores perceberam algumas problemáticas na APA do Itapiracó e reconheceram que suas atitudes podem influenciar positiva ou negativamente no meio. No entanto, ao questionar sobre o conhecimento deles em relação a definição conceitual de APA, muitos responderam que não sabiam como defini-la.

A APA do Itapiracó, considerada legalmente como uma unidade de conservação sustentável, é percebida como centro de referência ao lazer para a população. Embora haja uma relação de pertencimento positiva, fatores como a cultura, o desconhecimento parcial sobre as áreas de proteção e o tratamento ao local como centro de referência ao lazer podem corroborar para a compreensão a respeito da continuidade de alguns problemas socioambientais na APA e em seu entorno.

Os moradores investigados vivem na região, em média, há cerca de 21 anos. Ao longo desse tempo, tiveram experiências positivas ao contato com o complexo da APA do Itapiracó, tais como a prática de esportes com os amigos e a convivência com os familiares. Nesse contexto, as emoções e os sentimentos são essenciais para determinar uma relação de pertencimento com a área.

Como exposto por Moriconi (2008, p. 6):

> [...] os sentimentos de pertencimento e identidade são a alavanca que iniciará e despertará nas pessoas reflexões sobre o mundo e sobre as próprias atitudes. Com essas reflexões torna-se possível que elas olhem mais para si e transformem seu modo de viver, conduzindo a vida de uma forma em que o diálogo prevaleça, que o amor transborde e inspire, tornando-a mais tranquila e suave em meio aos atropelamentos do dia-a-dia.

Porquanto, o sentimento em pertencer a um lugar auxilia na construção de valores e incentiva reflexões que podem promover mudanças de atitudes. Dessa maneira, com o fortalecimento das relações de pertencimento, as pessoas podem se sentir inseridas no entorno e no interior do complexo da APA do Itapiracó.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesta investigação, foi verificado que existe sim uma relação de pertencimento entre os moradores e a APA do Itapiracó. Os entrevistados mencionaram emoções, sentimentos e sensações positivas que foram atribuídas à APA e seu entorno, tais como alegria, paz, conforto, tranquilidade, felicidade e bem-estar.

A referida unidade de conservação representa um espaço de lazer para praticar esporte e caminhada, a busca por uma vida saudável, local de reunião familiar, um lugar agradável de paz interior, espaço de reflexão e atributos equiparado a uma mãe que acolhe seus filhos. Os moradores investigados também perceberam algumas problemáticas na APA do Itapiracó e reconheceram que suas atitudes podem influenciar positiva ou negativamente no meio. No entanto, não sabiam como definir conceitualmente o que seria uma APA.

A relação de pertencimento é um passo inicial para que as relações entre as pessoas no cotidiano auxiliam no processo de sensibilização e conscientização a favor do ambiente. No entanto, apenas a relação de pertencimento, com sua extrema importância, não é suficiente para proteger e manter esta unidade de conservação. A APA do Itapiracó se configura como uma unidade de conservação de uso sustentável que apresenta uma biodiversidade amazônica.

Logo, a implementação de projetos de educação ambiental para a comunidade é uma das medidas essenciais que poderiam fortalecer a relação de pertencimento no sentido voltado às questões ambientais. Ademais, a realização de estudos sobre o meio, com o incentivo à reflexão e criticidade, favorece para que as pessoas conheçam um pouco mais sobre o ambiente em que vivem, percebam as dificuldades e problemas do contexto, identificam como seres ativos e possíveis de mudanças, e assim lutem por um ambiente melhor para todos.

REFERÊNCIAS

[1] BITTENCOURT, C. R. et al. Levantamento dos impactos ambientais antrópicos na APA do Itapiracó em São Luís do Maranhão. In: Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação, 7, 2012. **Anais...** Palmas: CONNEPI, 2012. p. 1-5.

[2] FAIRCLOUGH, N. **Discurso e Mudança Social**. Brasília: UNB, 2019.

[3] IBGE. **Síntese de Indicadores Sociais**: uma análise das condições de vida da população brasileira. Rio de Janeiro: IBGE, n. 37, 2017.

[4] MAFRA, G. A; LIMA, R. E.; DINIZ, J. S. Impactos Socioambientais decorrentes do processo de urbanização sofridos pela Área de Proteção Ambiental do Itapiracó, São Luís – MA. In: Encontro Nacional dos Geógrafos, 16. **Anais...** Porto Alegre: AGB, 2010. p. 1-9.

[5] MARANHÃO. Decreto nº 15.618, de 23 de junho de 1997. Cria a Área de Proteção Ambiental do Itapiracó e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado**. Ano XCI, nº121. 26 jun. 1997.

[6] MINAYO, M. C. S.; DESLANDES, S. F.; GOMES, R. (Org.). **Pesquisa Social**: teoria, método e criatividade. Petrópolis: Vozes, 2016.

[7] MOREIRA, E. V.; HESPANHOL, R. A. M. O lugar como uma construção social. **Revista Formação**, n.14, v.2, p. 48-60, 2008.

[8] MORICONI, L.V. **Pertencimento e identidade.** Campinas: Unicamp, 2014.

[9] PANTOJA, M. F. A importância da Revitalização do Complexo da Área de Proteção Ambiental (APA) do Itapiracó, São Luís, Maranhão, para a melhoria da qualidade de vida das comunidades do entorno. **Revista On-line IPOG Especialize**, ed.13, v. 1, n.13, p. 1-18, jul. 2017.

[10] PIEPER, D. S; BEHLING, G. M.; DOMINGUES, G. Pertencimento, patrimônio e meio ambiente: um diálogo necessário para a sustentabilidade. **Revista Delos**: **Desarrollo Local Sostenible**, n. 21, 2014.

[11] PINA, R. **Investimento em Educação terá redução de mais de 30% em 2018**. Brasil de Fato: Uma visão popular do Brasil e do Mundo. 26 dez. 2017. Disponível em: https://www.brasildefato.com.br/2017/12/26/investimentos-em-educacao-tera-reducao-de-mais-de-30-em-2018. Acesso em: 22 out. 2023.

[12] PINHEIRO, J. M.; TEIXEIRA, A. O.; CALDAS, C. S. Importância da Área de Proteção Ambiental do

Itapiracó para o lazer e o microclima local. In: Congreso Iberoamericano de Estudios Territoriales y Ambientales, 6. **Anais...** São Paulo: CIETA, 2014. p. 2734-2753.

[13] REIS, S. L. A.; BELLINI, L. M. Representações Sociais: teoria, procedimentos metodológicos e educação ambiental. **Acta Scientiarum: Human and Social Sciences**, v. 33, n. 2, p. 149-159, 2011.

[14] SOUZA FILHO, E. A. Análise de Representações Sociais. In: SPINK, M. J. (Org). **O conhecimento cotidiano**: as representações sociais na perspectiva da psicologia social. São Paulo: Brasiliense, 2013. p.109-145.

[15] YIN, R. **Estudo de Caso**: planejamento e métodos. Porto Alegre: Bookman, 2014.

Capítulo 6

Salas de aula sem paredes: canteiros inspirados na agrofloresta como recurso pedagógico

Gisele Pereira de Castro
Graziélli Teixeira da Rocha Santos
Lauren Patrícia de Barros Cursino
Marcos Vinícius Ferraz Mayela Querido
Ruama Lorena Ferraz Ramos

Resumo: A educação ambiental no cotidiano do ser humano vem sendo um fator de grande importância e que deve ser trabalhada nas instituições escolares, pois a proteção do meio ambiente e a conservação de vidas terrestres possibilitam aos envolvidos a construção de ideias sustentáveis, construtivas e aplicáveis além dos muros da escola e paredes de uma sala de aula. O objetivo desta pesquisa foi apresentar o planejamento e as práticas colaborativas de um espaço de preservação do meio ambiente, a partir de plantios de árvores frutíferas nativas, hortaliças, leguminosas e plantas medicinais para ensinar discentes do ensino médio uma possibilidade de interagir com o meio ambiente, proteger, recuperar e promover o seu uso sustentável de acordo com a ODS (Objetivos de Desenvolvimento Sustentável) 15 da ONU (Organização das Nações Unidas). A abordagem da pesquisa tem como método análise documental, descritiva e exploratória, com abordagem qualitativa tendo como fonte de coleta práticas educativas sobre educação ambiental, apresentando relatos, contextos e registros de parceiros de uma instituição pública estadual que abrange o PEI (Programa Ensino Integral) e que atende discentes do Ensino Fundamental Anos Finais e Ensino Médio. Como resultados destaca-se a importância de práticas diferenciadas e transformadoras de ensino e aprendizagem.

Palavras-Chave: Canteiros de Agrofloresta, Sustentabilidade na Escola, Educação Ambiental, Práticas Educativas, Programa Ensino Integral.

1. INTRODUÇÃO

A escola é um ambiente favorável e propício para discussões sobre questões ambientais, recursos ambientais e sua utilização racional. Segundo Jacobi (2014), o caminho para uma sociedade sustentável se fortalece a partir de propostas pedagógicas voltadas à problemática ambiental, almejando a formação de pessoas com comprometimento social. Tendo em vista o fator educação ambiental e sua importância na construção do indivíduo e seu olhar para o planeta Terra, destaca-se o seguinte problema de pesquisa: como tornar significativo o ensino da educação ambiental?

Sabe-se que, no atual cenário, o fator educação ambiental requer cuidados que geram aprendizados significativos além das paredes de uma sala de aula, visto que os alunos possuem contato direto com metodologias diferenciadas de ensino atuando na prática.

Segundo Nogueira (2023) a educação ambiental envolve um processo político, com interesses sobre as problemáticas ambientais. Decidir, tomar atitudes e discutir a respeito da utilização dos recursos naturais pela humanidade é de interesse de diversos grupos sociais.

Objetiva-se, portanto, nesta pesquisa, construir de modo colaborativo um espaço de preservação do meio ambiente, a partir de plantios de árvores frutíferas nativas, hortaliças, leguminosas e plantas medicinais. E tem-se como objetivos específicos ensinar discentes do ensino médio a possibilidade de interagir com o meio ambiente, proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, deter e reverter a degradação da terra e deter a perda de biodiversidade (ODS 15 – Vida Terrestre).

Como justificativa, temos que a educação ambiental não deve ser vista como algo fora do cotidiano dos alunos, mas como parte de suas vidas, fundamentalmente conscientes de proteger o meio ambiente para nossas vidas e para todos os seres da terra, afinal vivemos nele e precisamos de todos os seus recursos. Esse senso de conservação deve começar cedo, sendo mais fácil para as crianças entenderem a importância da natureza possibilitando ideias construtivas e sustentáveis.

A abordagem da pesquisa tem como método análise documental, descritiva e exploratória, com abordagem qualitativa em uma escola do Programa Ensino Integral (PEI) da rede estadual pertencente à uma diretoria de ensino de um município do Vale do Paraíba, tendo como fonte de coleta práticas educativas sobre educação ambiental, apresentando relatos, contextos e registros de parceiros, como os docentes de Biologia e História do ensino médio, iniciado no ano de 2021 e tendo processo de continuidade no presente ano agregando a interdisciplinaridade entre os envolvidos.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A Política Nacional de Educação Ambiental, instituída pela Lei 9.795/1.999 (Brasil, 1999), apresenta em seu artigo primeiro a definição de educação ambiental:

> Art. 1º. Entendem-se por educação ambiental os processos por meio dos quais o indivíduo e a coletividade constroem valores sociais, conhecimentos, habilidades, atitudes e competências voltadas para a conservação do meio ambiente, bem de uso comum do povo, essencial à sadia qualidade de vida e sua sustentabilidade.

Tal política surgiu após o lançamento do Tratado de Educação Ambiental para Sociedades Sustentáveis e Responsabilidade Global, na Conferência do Clima que ocorreu no Rio de Janeiro, em 1992. O tratado estabelece relações entre as políticas públicas voltadas para a Educação Ambiental, sustentabilidade, melhoria do meio ambiente e qualidade de vida (Carvalho, 2017).

Dessarte, as ações apoiadas por esta lei contam com as práticas pedagógicas como estratégias capazes de tornar significativas as ações destacadas neste artigo. Neste sentido, outros fatores são relevantes para esta aplicação, tais como o projeto político pedagógico da escola, as ações da gestão, a experiência e o comprometimento da unidade escolar com tais valores.

Segundo Silva et al. (2019) a educação ambiental não pode ser tratada como um conteúdo escolar e sim como forma de integrar disciplinas, por meio da interdisciplinaridade, formando um só saber conscientizador. Neste sentido, para discorrer sobre a temática, um termo comumente agregado às práticas utilizadas é a aprendizagem significativa. Ausubel (2003) defende que a aprendizagem significativa ocorre em duas condições: primeiro é preciso que o estudante tenha disposição para aprender, segundo, o tema proposto precisa ter lógica para este discente. Assim, cabe à prática pedagógica atender a estas condições, planejando ações que favoreçam a aprendizagem de forma contextualizada com o objetivo de agregar significados, atendendo, então, o disposto no artigo acima citado.

Ao abordar sobre o significado da aprendizagem, emerge também a apropriação deste significado pelo indivíduo. Neste âmbito, Freire (2017) defende que é próprio da consciência crítica sua integração com a realidade e que, toda compreensão de algo corresponde, cedo ou tarde, a uma determinada ação que afeta a realidade, transformando-a ou aprimorando-a. Neste contexto, ao associar a educação ambiental às necessidades locais, contextualizadas com a comunidade, é possível envolver com mais empenho os participantes das ações, pois desta forma ela se mostra significativa, tendo lógica e pertinência ao espaço proposto.

A escola é um local de promoção de ações para conservação e recuperação do meio ambiente, garantida pelo acordo com Política Nacional de Educação Ambiental:

> Art. 2º: A Educação Ambiental é um componente essencial e permanente da educação nacional, devendo estar presente, de forma articulada, em todos os níveis e modalidades do processo educativo, em caráter formal e não-formal.

Segundo Silva et. al. (2019), ao buscar sensibilizar os alunos acerca da importância do meio ambiente e de sua preservação, a escola estimula ideias e atitudes dos discentes e de toda a comunidade escolar com um objetivo em comum, a elaboração de um pensamento sustentável. Antunes e Uhmann (2023) destacam a importância de trabalhar a educação ambienta no espaço escolar, enfatizando essa temática no ensino de Ciências, apontam que o discente amplia sua visão a respeito das problemáticas socioambientais através de discussões realizadas no ambiente escolar, passando a refletir sobre suas atitudes de forma consciente.

O impacto ambiental vem aumentando significativamente ao longo do tempo, principalmente devido à produção e ao consumo irracional. O desenvolvimento tecnológico apoiado pelo desenvolvimento científico contribui com estes desafios ao

mesmo tempo em que lança bases para possíveis soluções que minimizem os impactos ambientais.

Motivados pela incessante busca pelo poder aquisitivo e enriquecimento rápido, pensar num país sustentável e consequentemente contribuir com o bem-estar da humanidade e para a preservação do meio ambiente tornou-se algo inviável aos olhos capitalistas. Contudo, garantir o bem-estar humano e a preservação do meio ambiente, bem como o funcionamento de uma economia sustentável, dependem intrinsecamente da gestão mais responsável dos recursos naturais, considerando que estes são finitos.

Em seu artigo, Nogueira (2023) aponta que a centralidade do trabalho humano na relação entre o ser humano e a natureza, está relacionada com os processos educativos como meio de concretizar essa relação. De acordo com Carvalho (2017), a formação do sujeito ecológico é responsabilidade de toda a sociedade, mas a escola toma parte entre estas experiências como um elo muito importante deste ambiente-mundo em que vivemos. O ambiente escolar ultrapassa inúmeras barreiras, produzindo um meio propício para debates necessários sobre a relação do homem com o meio ambiente.

Parte deste ambiente-mundo, a escola é permeada por relações institucionais, locais, raciais, comunitárias, pedagógicas, políticas, o que faz da vida escolar um espaço social muito significativo.

O relatório Fronteiras 2022, do PNUMA (Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente), apresenta alguns temas que são pontos de atenção frente ao tema do meio ambiente e sustentabilidade. O desequilíbrio ambiental global é uma realidade que apresenta impactos negativos diretamente ligados ao bem-estar humano. Mudanças climáticas, poluição dos rios, mares e do ar, esgotamentos dos recursos naturais refletem sem dúvidas na qualidade da vida animal.

Posto isso, fica evidente que a sustentabilidade ainda é um desafio que está em pauta no cenário mundial. A busca pela mudança de concepção sobre a qualidade de vida e bem-estar do ser humano é mais complexa do que se apresenta a princípio. Não obstante, a educação ambiental também enfrenta seus desafios. Como nos aponta Carneiro (2006):

> O paradigma da complexidade, norteador de uma epistemologia ambiental, implica uma revolução do pensamento hodierno, como mudança de mentalidade na transformação do conhecimento e das práticas educativas, em vista de um mundo socioambientalmente sustentável. Sob foco educacional, o paradigma da complexidade não se relaciona apenas ao aprendizado de fatos novos, mas com a desconstrução dos princípios epistemológicos da ciência moderna e a fundação de uma nova pedagogia apropriadora do conhecimento "(...) a partir do ser do mundo e do ser no mundo", envolvendo a construção de novos saberes e de uma nova racionalidade, que permitam às atuais e futuras gerações novas maneiras de se relacionar com o mundo.

A sustentabilidade perpassa por uma mudança de pensamento, concepção de vida e cosmovisão. Aprender a ser mais sustentável e ter atitudes sustentáveis se dá por meio da desconstrução de visões de mundo e de valores intimamente relacionados ao enriquecimento financeiro ditados pelo capitalismo irracional e desordenado.

Contudo, em meio a estas complexas realidades, facilmente observadas no contexto hodierno, percebe-se também uma tentativa por meio das empresas privadas e estatais,

ONGs, ONU e administração pública, em delinear estratégias que visam a impedir o avanço do desequilíbrio ambiental e suas consequências desastrosas. Posto isso, evidencia-se por meio das ODS (Objetivos de Desenvolvimento Sustentável), os esforços adotados pelos países que integram a ONU (Organização das Nações Unidas), visando a orientar, delinear, planejar, apoiar e monitorar ações e políticas públicas voltadas para a solidificação de um mundo cada vez mais sustentável.

O Manual Escolas Sustentáveis ratificado pela Resolução CD/FNDE nº 18, de 21 de maio de 2013, prevê que nas instituições de ensino sejam desenvolvidos currículos que abarquem o conhecimento, saberes e práticas sustentáveis no Projeto Político-Pedagógico. Para tal, admite-se uma abordagem que seja contextualizada à realidade local, onde as instituições de ensino são orientadas a desenvolver a educação ambiental por meio do currículo, fortalecido pela BNCC (Base Nacional Comum Curricular), com temas transversais, buscando anexar a comunidade escolar à sociedade global. Não podemos deixar de citar a Constituição Federal (BRASIL, 1988) que enfatiza no inciso VI do artigo 225, a relevância em proporcionar a todo os níveis de ensino, a educação ambiental.

Em suma, embora haja questões complexas e preocupantes em relação ao futuro do planeta, do meio ambiente, do bem-estar e da qualidade da vida animal, há também planejamentos e ações que têm como aliada a educação ambiental e que visam contribuir com a desconstrução de valores enraizados no discurso pragmático do uso dos recursos naturais e do enriquecimento irracional, voltados à construção de um novo modo de pensar, ver e relacionar-se com o meio ambiente e com o mundo, de modo geral.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O The RainForest Canvas apresenta-se como uma ferramenta útil para avaliar a situação de um ecossistema em seus componentes físicos e culturais. Segundo Hwang e Horowitt (2012, p. 183):

> A inovação é caótica, fortuita e incontrolável, então os processos lineares e controlados raramente são autossustentáveis. Em contraste, o que buscamos em uma floresta tropical é um sistema que produza imenso impacto, seja de baixo custo e gere sustentabilidade interna. A única maneira possível de atingir esses objetivos é construir uma comunidade de inovadores onde os custos de transação foram reduzidos através da criação de confiança, normas sociais, conectividade e diversidade.

Quadro 1 - Canvas RainForest Agrofloresta

<table>
<tr><th colspan="2">LEADERS
(Líderes)</th><th colspan="2">STAKEHOLDERS
(Parceiros)</th><th colspan="2">FRAMEWORKS
(Estruturas)</th></tr>
<tr><td colspan="2">– Equipe de Gestão
– Professores
– Alunos</td><td colspan="2">– -Professores de Biologia e História</td><td colspan="2">– Escola do Programa Ensino Integral</td></tr>
<tr><th>RESOURCES
(Recursos)</th><th>ACTIVITIES
(Atividades)</th><th>ENGAGEMENT
(Engajamento)</th><th colspan="3">ROLE MODELS
(Modelos de Funções)</th></tr>
<tr><td>– PDDE
– Paulista;
– Doação de mudas, sementes e adubo pela comunidade local;
– Materiais necessários para o projeto (enxadas, regadores, rastelos).</td><td>– Cultivo e cuidados com o solo;
– Plantio de mudas e
– sementes;
– Observação;
– Colheita e distribuição.</td><td>– Interação no processo da escolha do plantio;
– Construção e elaboração dos registros;
– Acompanhamento do crescimento das plantas;
– Auxílio das famílias no processo de busca de estercos e adubos
– para enriquecimento
– do solo.</td><td colspan="3">– -A experiência poderá contribuir para o desenvolvimento do
– projeto de vida do
– estudante e promover o empreendedorismo.
– Transformação das práticas educativas;
– Aprendizagem com modelos parecidos de projetos.</td></tr>
<tr><th colspan="3">INFRASTRUCTURE, CAPABILITY & COMMUNITY
(Infraestrutura, Capacidade E Comunidade)</th><th colspan="3">CULTURE
(Cultura)</th></tr>
<tr><td colspan="3">– Área externa da escola;
– Há espaço na escola que possibilita o empreendimento do projeto;
– Escola localizada na zona rural, porém com infraestrutura necessária (água, saneamento básico, energia elétrica). Há residências no entorno, Programa Saúde da Família e pequenos pontos comerciais.</td><td colspan="3">– Alunos Moradores da Zona Rural
– Motivação: Contribuir com o Projeto de Vida do estudante relativos ao Agronegócio;
– Promover estratégias significativas de aprendizagem;
– Colocar o projeto como parte do PPP da escola</td></tr>
</table>

Fonte: Elaborado pelos autores, (2022).

Pensando neste contexto, destacam-se as conectividades de processos envolvidos no presente projeto, estes possibilitam a visualização da aplicabilidade de práticas educacionais para engajamento dos discentes representado pelas figuras abaixo:

Imagem 1: Construção da agrofloresta

Imagem 2: Análise de crescimento

Imagens 5 e 6: Colheitas

A conscientização dos alunos serviu de estímulo para aquisição de novos hábitos alimentares entre eles, além de desenvolver técnicas de plantio, estimulando o desenvolvimento de outros ensinamentos, como qualidade de vida e alimentação saudável. A melhoria do espaço escolar estimula a compreensão dos alunos sobre questões como respeito ao patrimônio da instituição e às questões ambientais. De acordo com Nogueira (2023), a educação ambiental deve promover através de processos educativos a convivência com equilíbrio, não só com as demais formas de vida, mas também entre os próprios seres humanos.

4. MONITORAMENTO E AVALIAÇÃO

Para acompanhar o projeto, foram realizadas ações de monitoramento de modo a garantir que os objetivos propostos fossem atingidos conforme o planejamento inicial. Esse monitoramento foi realizado por meio de observação realizada pelos discentes e docentes

das disciplinas de História e de Biologia.

Logo no início do projeto, os docentes, ao analisarem o solo, identificaram que estava pobre em nutrientes. Assim, tiveram que buscar estratégias para enriquecimento do solo com nutrientes naturais. Dessa forma, o solo foi preparado com folhas secas e grama retiradas no espaço escolar e com esterco trazido pelos discentes. Como a escola encontra-se localizada em zona rural, houve uma certa facilidade por parte dos discentes na colaboração ao trazer o esterco utilizado na adubação do solo.

Esse processo de cuidado do solo para plantio durou cerca de dois meses. Quando o solo ficou adequado ao plantio, os discentes começaram a trazer mudas e sementes para o plantio. Nos locais escolhidos para os canteiros, foram plantadas ervas medicinais, árvores nativas e frutíferas, bananeiras, hortaliças, entre outras plantas. O monitoramento era realizado semanalmente pelos próprios discentes, com registros organizados pelos docentes.

Os discentes do ano letivo 2021, conseguiram colher dos canteiros: tomate, banana, alface, repolho, abacaxi, abóbora, feijão, cana, milho, rúcula, mandioca, quiabo e acerola.

Os docentes que estavam responsáveis pelo projeto transferiram-se para escolas do litoral paulista. Atualmente, uma docente de Ciências está retomando as atividades e reorganizando o projeto. Segundo essa docente, quando foram capinar o mato no início do ano letivo, perceberam que, infelizmente, muitas plantas e mudas foram retiradas dos canteiros. Na avaliação da docente, na continuidade do projeto será necessário um cuidado maior na orientação das pessoas que fazem a capina.

A avaliação do projeto constou de relatórios de observação realizados pelos discentes, participação e responsabilidade no cuidado com os canteiros e cumprimento das rotinas. Embora os docentes fossem de Biologia e de História, as atividades foram desenvolvidas na disciplina de Eletivas, planejada a partir do projeto de vida dos estudantes. Considerando que a escola está inserida na zona rural, alguns discentes apresentaram como Projeto de Vida a possibilidade de atuar no agronegócio. Concordamos com Antunes e Uhmann (2023, p. 272) quando apontam que *"[..] todas as ações a favor do meio ambiente são necessárias e importantes, tanto no contexto escolar quanto na comunidade e sociedade em geral, pois colaboram minimizando os impactos da crise ambiental que estamos vivenciando."*

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A educação ambiental contribui de modo significativo para a aquisição de habilidades e competências relacionadas às questões de sustentabilidade, de preservação do meio ambiente e de hábitos saudáveis que promovem qualidade de vida. Representa um componente imprescindível para a educação, devendo fazer parte do processo educativo (BRASIL, 1999).

Os canteiros inspirados na agrofloresta podem representar um contato importante desse discente com a natureza e com a biodiversidade, por meio do estudo das técnicas de plantio, cultivo do solo, tipos de raízes, sementes e mudas. A aprendizagem por projetos na escola busca que os discentes possam adquirir habilidades de modo prazeroso e transformador, contribuindo para a formação do cidadão que seja competente e produtivo (MARTINS, 2001). Desse modo, a educação ambiental é uma temática significativa para formação de cidadãos conscientes e participativos quanto a questões

relacionadas à preservação do meio ambiente.

Ao colocar em prática o projeto inspirado na criação de canteiros de agroflorestas, os docentes podem ressignificar a aprendizagem dos discentes. Nesse quesito, existe a possibilidade de transformação das práticas educativas que considerem o espaço fora das quatro paredes da sala de aula. Assim, ao incluir nas práticas educativas a oportunidade de utilizar o espaço externo da escola como uma sala de aula a céu aberto, por meio de um projeto de educação ambiental, tais atividades poderão representar uma aprendizagem realmente significativa para os discentes, oportunizando o desenvolvimento de conhecimentos, habilidades e competências.

REFERÊNCIAS

[1] ANTUNES, D.; UHMANN, R. I. M. Concepções e práticas de educação ambiental em pesquisas sobre livros didáticos de ciências: um estudo de revisão. Revbea, São Paulo, V. 18, No1:261-278, 2023.

[2] AUSUBEL, D. P. **Aquisição e retenção de conhecimentos:** Uma perspectiva cognitiva, Lisboa: Plátano, 2003.

[3] BRASIL. **Constituição Federal da República Federativa do Brasil.** Brasília, 1988.

[4] BRASIL. Ministério da Educação. **Política Nacional de Educação Ambiental.** Lei 9597/99, 1999.

[5] CARNEIRO, S. M. M. **Fundamentos epistemo-metodológicos da educação ambiental**. Revista Educar, Curitiba, n. 27, p. 17-35, 2006.

[6] CARVALHO, I. C. M. **Educação ambiental:** a formação do sujeito ecológico. São Paulo: Cortez, 2017.

[7] FREIRE, P. **Educação como prática da liberdade**. ed. 52, Paz e Terra, 2017.

[8] HWANG, V. W.; HOROWITT, G. **The Rainforest. The Secret To Building The Next Silicon Valley**. Editora Regenwald, 2012.

[9] JACOBI, P. R. **Mudanças climáticas e ensino superior:** a combinação entre pesquisa e educação. Educar em Revista, Curitiba, n. esp. 3, p. 57-72, 2014.

[10] MARTINS, J. S. **O trabalho com projetos de pesquisa:** do ensino fundamental ao médio. - 5. ed. - Campinas, SP: Papirus, 2001. - (Coleção Papirus Educação).

[11] NOGUEIRA, C. **Constribuições para a educação ambiental crítica.** Revbea, São Paulo,V. 18, No3:156-171, 2023.

[12] SILVA, K. P. M. et. al. **Educação ambiental e sustentabilidade:** uma preocupação necessária e contínua na escola**.** Revista Brasileira de Educação Ambiental (RevBEA), v. 14, n. 1, p. 69- 80, 2019.

Capítulo 7

Diagnóstico de esgotamento sanitário em comunidade rural, no município de Iguatu-CE

Luiz Romário Uchôa

Resumo: Este trabalho teve como objetivo realizar o levantamento participativo sobre as condições do saneamento básico das residências na comunidade de Tipis, no município de Iguatu. A coleta dos dados em campo ocorreu durante o mês de Outubro de 2018, para tanto foi utilizado um questionário com perguntas abertas e fechadas além da coleta das respostas comentadas pelos entrevistados, sendo realizado também o registro de imagens. O trabalho revelou a grande necessidade da comunidade em saneamento, sendo que nenhuma das residências é conectada a rede esgoto, apesar de 92% das mesmas possuírem água encanada. Outro dado preocupante é que 68% dos entrevistados afirmaram não ter recebido nenhuma orientação sobre o armazenamento e o tratamento da água para o consumo, podendo ser associado a essa falta tratamento da água as doenças mais comuns relatadas pelos moradores. Dos entrevistados, 96% responderam que já houve casos de doenças devido a ingestão de água contaminada, sendo diarreia e vômito as doenças mais comuns tratadas por 58% dos moradores.

Palavras-chave: Esgotamento sanitário, Saneamento, Prevenção de doenças.

1. INTRODUÇÃO

É de amplo conhecimento comum que a água constitui elemento essencial à vida. Não por acaso, assistiu-se nos últimos anos, um crescente debate e uma contínua mobilização da sociedade, em todo o mundo, para a preservação das fontes, aquíferos, limpeza de rios e lagos, como um todo. Apesar disso, desastres ambientais como o ocorrido com a Barragem de Fundão, em Mariana-MG, no Brasil, ainda mostram uma longínqua situação ideal de preservação desse recurso natural tão importante. Afinal de contas, além da quantidade, é preciso assegurar que a água também seja de qualidade para o consumo, do contrário, pode acarretar inúmeras doenças. Nesse sentido, Tundisi (2003) relaciona a qualidade de vida de uma população a qualidade e quantidade da água disponível para a mesma.

Serafim e Dias (2013) dissertam que tanto o acesso à água de boa qualidade e em quantidade adequada quanto o tratamento do esgotamento sanitário (como proteção à saúde e ao meio ambiente) são direitos constitucionais cuja garantia cabe ao setor público, de forma compartilhada pelas três esferas federativas, conforme previsto na Política Nacional de Saneamento Básico (PNSB). De certo, a Constituição Brasileira (1988) distribuiu entre os entes federativos as competências legislativas e político-administrativas relativamente às várias atividades nas quais a água está envolvida. Entre elas, destacadamente, o saneamento (Barroso, 2002).

Buscando mapear o alcance da implementação desses serviços, Serafim e Dias (2013) recorreram à Pesquisa Nacional de Amostras por Domicílio (PNAD), realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2009), a qual mostrou que 98% dos domicílios urbanos no país são servidos por rede de abastecimento de água canalizada. Entretanto, também apontou que 15% desses domicílios ainda utilizam o sistema de "fossas rudimentares", ou lançam seus dejetos em cursos d'água ou diretamente no solo a céu aberto.

Contudo, ao analisar especificamente a área rural, os números mostram uma outra realidade. Para começar, segundo o IBGE, 18,75% da população brasileira ainda vive em área rural. Nessas regiões, geralmente mais distantes dos grandes centros urbanos, há uma grande problematização quando se refere à coleta e tratamento de água oriunda do esgoto doméstico. Nas comunidades rurais, o descarte do esgoto é feito em sua grande maioria diretamente em açudes, córregos ou riachos, gerando assim grandes problemas com a contaminação desses corpos hídricos (Sperling, 1996).

Em relação à população rural, a PNAD mostrou que apenas 32,8% dos domicílios nessas áreas estão ligados a redes de abastecimento de água, com ou sem canalização interna. A maioria da população capta água proveniente de poço ou nascente, reservatório abastecido por carro-pipa, coleta de água da chuva, entre outras formas alternativas (IBGE, 2009). No que se refere ao serviço de esgotamento sanitário, a situação fica mais crítica nas regiões rurais: apenas 5,7% dos domicílios estão ligados à rede coletora de esgoto, 20,3% utilizam fossa séptica, ligada ou não à rede coletora como solução para o tratamento dos dejetos, e 49% depositam os dejetos em "fossas rudimentares".

A significativa utilização das fossas rudimentares, nas áreas rurais, contribui direta e indiretamente para o surgimento de doenças de veiculação hídrica (Serafim; Dias, 2013), sendo necessárias ações de ordem pública e governamental para mudar esse panorama. Nesse sentido, uma das principais soluções adotadas para suprir a inexistência de serviços adequados de esgotamento é a implantação de fossas sépticas biodigestora. Peres *et al* (2010) defendem que os habitantes das áreas rurais podem utilizar a fossa séptica

biodigestora, que nada mais é do que uma sequência de tanques enterrados que captam o esgoto, retém a parte sólida e fazem uma purificação na parte líquida.

Ao longo do tempo, pesquisadores têm desenvolvido tecnologias que podem ajudar no tratamento do esgoto doméstico, evitando assim seu lançamento indiscriminado na natureza. Dentre as tecnologias pesquisadas, a fossa séptica biodigestora merece destaque, por ser um projeto desenvolvido pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), que visa tratar o esgoto doméstico de localidades onde não há coleta nem tratamento do mesmo (Novaes, 2002). Além disso, a fossa séptica biodigestora se adequa a realidade das comunidades por ser uma tecnologia que não necessita de mão de obra especializada, e de baixo custo para sua construção e de fácil manutenção.

Com base na problemática exposta, considerando as inúmeras dificuldades que a população das áreas rurais têm de enfrentar tanto para o abastecimento como para o esgotamento sanitário, e as tecnologias que têm sido desenvolvidas como forma alternativa de solucionar os problemas gerados pela inexistência de estruturas adequadas de esgotamento sanitário, com destaque para as fossas sépticas biodigestoras, observou-se a realidade local de uma comunidade rural, localizada no município de Iguatu-CE, levantando a seguinte pergunta: *qual a situação atual de esgotamento sanitário na Comunidade Rural de Tipis?*

Para responder a indagação levantada, propõe-se como objetivo geral da pesquisa: Verificar e analisar como é feito, atualmente, o esgotamento sanitário na comunidade rural de Tipis. Para a consecução do objetivo geral, este desdobra-se nos seguintes objetivos específicos:

1. Identificar os principais meios de esgotamento sanitário utilizados na Comunidade Rural de Tipis;
2. Verificar se há na comunidade de Tipis o uso de fossas sépticas biodigestoras ou outras tecnologias alternativas para o esgotamento sanitário;
3. Analisar as condições de saúde da comunidade, decorrentes da infraestrutura de esgotamento sanitário.

Justifica-se a escolha do tema como uma oportunidade de conhecer a realidade dessa comunidade rural e, a partir das informações levantadas, sugerir a implementação de políticas públicas de saneamento, à luz do referencial teórico utilizado.

A estrutura da pesquisa está organizada em cinco capítulos: além desta introdução, com a apresentação dos objetivos e justificativa do trabalho, um segundo capítulo será destinado ao referencial teórico que irá apresentar um panorama do saneamento no Brasil, experiências internacionais de saneamento, as bases legais do saneamento no Brasil, com ênfase no meio rural, o tratamento de esgoto em meio rural, e as tecnologias desenvolvidas como alternativas para enfrentar os problemas gerados pela ausência de infraestrutura adequada para o esgotamento sanitário. O terceiro capítulo está caracterizado pelo perfil metodológico da pesquisa. Por fim, o quarto capítulo traz a discussão dos dados coletados através das entrevistas e observações realizadas bem como as análises subsequentes. Essa monografia encerra-se com as considerações finais e as reflexões levantadas através dos achados da pesquisa.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. O PANORAMA DO SANEAMENTO NO BRASIL

O tratamento do esgoto no Brasil apresenta grandes problemas, segundo o IBGE (2018) o Brasil possui 66% da rede geral ou fossa ligada a rede de esgoto, sendo que 30,3% não tem fossa conectada à rede, e 2,9% utilizam outra forma de esgotamento. Segundo Melo (2011), estes esgotos são considerados como tratados quando recebem algum tratamento antes de serem lançados nos corpos d'água, mesmo que seja apenas um tratamento secundário, onde se realiza a remoção das partículas maiores e da matéria orgânica, além da matéria orgânica dissolvida do efluente. O tratamento desse esgoto em geral é feito por combinação de processos físicos, químicos e biológicos, que reduzem a carga orgânica do esgoto antes do seu lançamento em corpos d'água (Kim *et al*, 2012). As formas de tratamento consideradas são o tratamento por sistemas como filtro biológico, as lagoas aeróbias, anaeróbias, facultativas, de estabilização, aerada, mista e de maturação, o reator anaeróbio e a fossa séptica (HespanhoL, 2003). O sistema para tratamento é escolhido em função das condições estabelecidas para a qualidade da água dos corpos receptores que são determinadas pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA).

O esgoto urbano é composto basicamente por resíduos domésticos e efluentes industriais. A composição do esgoto é bastante variável, sendo grande parte composta por matéria orgânica, especialmente as fezes humanas, a característica do mesmo pode mudar ao longo do tempo devido as diversas transformações que ele sofre até sua completa mineralização ou estabilização (Gomes *et al*., 2007). O esgoto pode se diferenciar quanto ao tipo de poluição, o esgoto domestico causa poluição orgânica e bacteriológica, já esgoto industrial produz poluição química (Giordano, 2004).

Os corpos hídricos onde são lançados os esgotos podem se recuperar da poluição, ou depurar-se, pela ação da própria natureza, desde que sejam respeitados os limites de descarga poluidora em função da vazão do corpo receptor (BORGES *et al*., 2003). Geralmente estes mananciais sofrem por receberem altas cargas de efluentes incompatíveis para sua vazão fazendo com que não haja uma depuração adequada, nesses casos tem-se a necessidade de realizar o tratamento desse esgoto antes de lança-lo no nos corpos hídricos.

2.1.1. ANÁLISE COMPARATIVA COM EXPERIÊNCIAS INTERNACIONAIS

No dia 25 de setembro de 2015, os 193 estados membros das Nações Unidas aprovaram em Nova Iorque a adoção da agenda 2030 que visa 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) (TRATA Brasil, 2017). Esse marco para o desenvolvimento sustentável teve início, na realidade, na conferência Rio+20 em 2012, dentre os objetivos citados está o número 6 que trata da seguinte questão: "Assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos". Neste objetivo, estão impostas as metas de melhoria da qualidade da água, a disponibilidade e gestão da água e saneamento para todos, e o fim da defecação a céu aberto garantindo saneamento para todos.

No planeta, cerca de 2,1 bilhões de pessoas – 3 em cada dez – não têm acesso à água potável em casa, e cerca de 4,5 bilhões – 6 em cada dez – não têm saneamento seguro, segundo o relatório da Organização Mundial da Saúde (OMS) e do Fundo das Nações Unidas para a Infância (UNICEF). O relatório apresenta a primeira avaliação global dos serviços de água potável e saneamento com gestão segura. A conclusão é que muitas pessoas ainda não têm esse acesso, sobretudo em zonas rurais.

A partir do ano 2000, bilhões de pessoas tiveram acesso a serviços básicos como água potável e saneamento, no entanto, esse fornecimento não significa que seja uma água tratada ou saneamento seguro, de acordo com as Nações Unidas no Brasil (ONUBR, 2017). Muitos desses locais, como escolas, casas e instalações de saúde, falta até mesmo água e sabão para lavar as mãos. Isso implica em riscos para a saúde principalmente de crianças pequenas que ficam vulneráveis ao risco de contraírem doenças como a diarreia. Estima-se que todos os anos cerca de 360 mil crianças com menos de 5 anos morrem devido a diarreia (ONUBR, 2018). A falta de um saneamento adequado e a água contaminada são responsáveis também pela proliferação de diversas outras doenças como febre tifoide, cólera, hepatite A e disenteria.

Estima-se que em 90 países o progresso rumo ao saneamento básico é muito lento, isso significa que seus habitantes não alcançarão a cobertura universal em 2030. Cerca de 600 milhões de pessoas fazem o uso compartilhado de banheiro ou latrina com outras famílias e 892 milhões, principalmente em áreas rurais defecam ao ar livre. Com o crescimento da população, a defecação ao ar livre está aumentando na África subsaariana e na Oceania (ONUBR, 2017).

De acordo com o último levantamento feito pelo CEPAL e Banco Mundial o Brasil, quando comparado com os países da América Latina, o Brasil ocupa a 10º posição do indicador de acesso das pessoas às redes de coleta de esgoto, ficando atrás de Venezuela, Argentina, Bolívia, Chile e outros. O Brasil ainda dá os primeiros passos em direção ao plano de universalizar os serviços de saneamento básico até 2033. Um estudo feito pela Confederação Nacional da Indústria (CNI) faz comparações de atendimento de saneamento no Brasil com outros países. Esse estudo mostra países de referência como Inglaterra, Chile e Alemanha. A CNI defende que haja uma importação de bons exemplos internacionais para melhorar o saneamento no Brasil. De acordo com a entidade não se tem um modelo ideal e único, pois todos os países avaliados apresentam formas diferentes que se adequam a cada realidade do saneamento.

A CNI defende que o Brasil importe exemplos internacionais de sucesso para melhorar seus índices de saneamento. Na avaliação da entidade, no entanto, não há um modelo único ideal, pois os países analisados mostram soluções heterogêneas para o desenvolvimento do saneamento. Contudo, há três ingredientes fundamentais para o bom funcionamento do setor: planejamento, regulação e gestão. Com os investimentos atuais, as metas de universalização dos serviços só seriam atingidos em 2050 – quase 40 anos após a meta estipulada pelo PNSB que ocorreu entre 2009 e 2013. No ano de 2014, o investimento chegou a R$ 12,2 bilhões, enquanto, em 2015 a estimativa foi de apenas R$ 8,5 bilhões, o que significa uma redução de 30% nos investimentos.

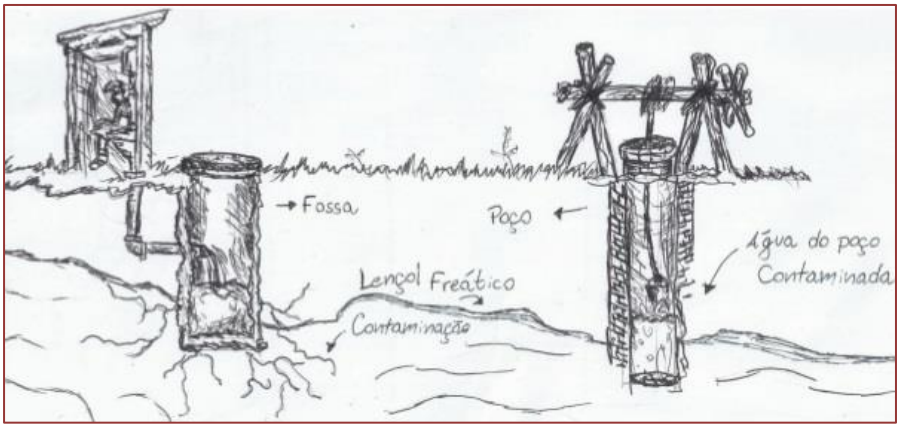
2.2. O SANEAMENTO RURAL NO BRASIL

O percentual de esgoto tratado nas áreas urbanas no Brasil não é suficiente para atender toda a demanda da população, entretanto, esse índice é maior do que o percentual apresentado em áreas rurais ou longe dos grandes centros urbanos. Segundo dados do IBGE, na área rural do Brasil há cerca de 29,9 milhões de habitantes, que em sua maior parte carecem de sistemas de saneamento básico. É possível observar que o maior *déficit* ocorre na componente esgotamento sanitário, onde 54,2% dos domicílios possuem atendimento precário e 28,6% são considerados sem atendimento da rede coletora de esgotos e/ ou fazem uso de fossas sépticas. Contudo, a grande maioria (41%) utiliza-se de

fossas rudimentares, mais conhecidas como “fossas negras”, como solução final para o esgoto doméstico gerado (IBGE).

As fossas rudimentares ou “fossa negra” são as principais responsáveis pela contaminação das águas subterrâneas essas fossas são construídas da seguinte maneira é realizado uma escavação no solo sem nenhum revestimento (Figura 1). No interior desse buraco são depositados os resíduos oriundos da residência sem nenhum tratamento antes, dentro desse buraco ocorrem as reações químicas devido a grande quantidade de matéria orgânica e intensa atividade microbiana, nessa reação são liberados coliformes fecais, altas concentrações de nitrato (NO^{-3}) e um líquido de odor desagradável, que infiltra nas paredes da fossa no solo podendo atingir e contaminar as águas subterrâneas (Henrique et al., 2014).

Figura 1 – Ilustração de uma “fossa negra”



Fonte: http://roofingbrooklyn.net/construo-de-fossa.html

No Estado de São Paulo, foram observadas alterações nas concentrações naturais de NO^{3-} em águas subterrâneas. Dos poços analisados, 3% apresentaram concentrações de NO^{3-} superiores a 10 $mg.L^{-1}$. Ainda, segundo o relatório da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2004) foi registrado um aumento nas concentrações mínimas e máximas detectadas no período de 2001 a 2003, indicando um progressivo aporte de nitrato nesses poços atribuído, principalmente, à contaminação por esgoto doméstico. No mesmo relatório, também são mencionadas contaminações biológicas das águas subterrâneas, registrando a presença de coliformes fecais em concentrações na faixa de 1 a 5 % nos aquíferos analisados.

2.2.1. BASES LEGAIS

No Brasil, desde a criação da Constituição Federal (CF) também conhecida como Carta Magna, existem provisões para o saneamento básico no país. Tratam deste tema os artigos 21, 25, 30 e 182 destacando a competência dos entes federados (União, estados, Distrito Federal e municípios), tendo como base o pacto federalista que garantem autonomia das esferas administrativas (Brasil, 1988). São as diretrizes constitucionais que direcionam o desenvolvimento das politicas públicas de saneamento no Brasil. No entanto, essas politicas devem ser desenvolvidas e regulamentadas nas leis infraconstitucionais. Assim,

tem-se o saneamento básico como direito reconhecido pela Constituição Federal e determinado pela PNSB - Lei Federal nº 11.445/2007 – determinando como conjunto de serviços, esgotamento sanitário, limpeza urbana, infra estruturas e instalações para abastecimento de água, drenagem urbana, manejo de águas pluviais e de resíduos sólidos (Instituto Trata Brasil, 2018).

De acordo com o Plano Plurianual de Governo (PPA 2016-2019), cabe ao Ministério da Saúde apoiar Estados e Municípios na adoção de medidas estruturais e estruturantes em áreas rurais e comunidades tradicionais, assegurando a ampliação do acesso a uma maior qualidade e sustentabilidade das ações e serviços públicos de saneamento básico. Competindo ainda formular e implementar o Programa Nacional de Saneamento Rural, definido no PNSB, assim como coordenar o programa e a elaboração de um modelo conceitual de acordo com a sua estrutura e organização dos territórios rurais. No exercício de suas atribuições e em consonância com sua estrutura e organização, o Ministério da Saúde delega esta competência à Fundação Nacional de Saúde (Funasa).

Deste modo, a Funasa além de prestar apoio técnico e financeiro aos municípios com menos de 50 mil habitantes, ela é também o órgão do Governo Federal responsável por implementar ações de saneamento em áreas rurais de todos os municípios brasileiros, além de atender também as populações remanescentes de quilombos, assentamentos de reforma agrária, comunidades extrativistas e populações ribeirinhas. Ressalta-se que as ações de saneamento rural desenvolvidas pela Funasa tem como fonte recursos não-onerosos vindos do Orçamento Geral da União (OGU), sendo executadas por meio convênios celebrados diretamente com os estados e/ou municípios.

2.2.2. ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS E SOCIAIS PARA O TRATAMENTO DAS ÁGUAS RESIDUAIS EM MEIO RURAL

O Brasil apresenta graves problemas relacionados à coleta e tratamento de esgoto domésticos, problemas esses que se agravam mais em áreas rurais onde quase não há investimentos (Esppindola ; Brigante, 2009). A falta de coleta e tratamento do esgoto rural acarreta vários problemas a saúde dessa população, como por exemplo, as doenças denominadas doenças feco-orais, que são comumente conhecidas como diarreicas (ESREY, 1996). Outro problema que relacionados a falta de coleta e tratamento do esgoto no meio rural é a contaminação do solo e principalmente das fontes utilizadas para abastecimento e consumo dessas populações, que utilizam principalmente rios, lagos, nascentes e lençol freático.

De acordo com a FUNASA (2018), tem-se uma relação de investimento em saneamento de um (1) para quatro (4) isso significa que, a cada um R$ 1,00 investidos em saneamento básico de qualidade são economizados R$ 4,00 com saúde, ficando evidente a importância do tratamento dos esgotos para melhor a saúde pública.

Devido ao baixo poder econômico dessas populações, a necessidade de se desenvolver tecnologias de baixo custo e que atendam com uma boa eficiência, tornam-se cada vez mais necessárias nestas áreas tão carentes de soluções (Costa; Guilhoto, 2015). Para atender esse dois pontos, baixo custo e boa eficiência a melhor alternativa é desenvolver tecnologias que tratem os efluentes líquidos próximo a moradia da família onde são produzidos, sendo assim a melhor forma de trata-los é utilizando sistemas naturais na interação, esses sistemas não requerem altos investimentos nem o emprego de mão de

ora especializada, além de apresentar menor susceptibilidade as variações nas taxas de aplicação de esgoto.

Com o objetivo de solucionar os problemas relacionados a falta de coleta e tratamento do esgoto em área rural, vários pesquisadores e instituições governamentais e não governamentais estão trabalhando para desenvolverem novas tecnologias que possam solucionar esse problema. Dentre essas tecnologias, pode-se citar a fossa séptica biodigestora, banheiro seco, escoamento superficial no solo e zona de raízes, círculo de bananeiras entre outros, que podem ser encontrar publicados em revistas, anais de eventos e periódicos.

a) Banheiro seco

O banheiro seco também conhecido como banheiro ecológico, sanitário compostável ou banheiro biológico é uma tecnologia desenvolvida onde não há a necessidade do uso de água para seu funcionamento (Berger, 2010), isso significa que esse sistema trata a seco os dejetos humanos, funcionando assim como substituto aos banheiros tradicionais que geram problemas de saneamento aos corpos hídricos (Vanlengen, 2004). Essa mesma tecnologia já utilizada em muitos países ao redor mundo, sendo seu funcionamento simples de modo que trata por meio de compostagem os dejetos humanos transformando os mesmos em resíduos sólidos e adubo orgânico (Alves, 2015).

O banheiro seco é formado, basicamente, por duas partes: a primeira é o local de assento e a segunda é onde são armazenados os dejetos, sendo que na segunda parte pode ser também o local onde é realizado o processo de decomposição ou compostagem (Alves, 2015). De acordo com a GTZ (Agência Alemã de Cooperação Técnica) a decomposição é realizada por bactérias aeróbicas termofílicas, actinomicetos e fungos que degradam a matéria orgânica, sendo possível até a remoção de patógenos quando submetido a condições adequadas de temperatura. Para que o processo ocorra de forma adequada é necessário um nível adequado de umidade, uma boa aeração do material e uma boa relação entre carbono e nitrogênio (C:N), em torno 30:1. Para o bom funcionamento do sistema é necessário a adição de um material que seja rico em carbono, por exemplo, a serragem (Vanlengen, 2004), isso devido ao fato de que os dejetos humanos não fornecem condições adequadas por apresentarem altas concentrações de nitrogênio (Berger, 2010).

b) Jardim filtrante;

O jardim filtrante é uma solução com muito potencial sustentável, relativamente barata e fácil de implementar. Esses jardins são responsáveis por fazerem a purificação das águas cinzas ou complementarem o sistema de tratamento por meio da fossa séptica biodigestora, eu trata as águas negras.

As águas após serem utilizadas em uma residência são descartadas e recebem duas classificações:

- Água cinza - são aquelas que saem das pias, chuveiros, tanques, mangueiras etc.
- Água negra – são aquelas que vêm de vasos sanitários.

A ideia utilizada por trás do jardim filtrante é da fitorestauração, conhecida popularmente pelo nome de jardim filtrante. O sistema consiste em criar uma estrutura que se assemelha a áreas alagadas naturais, como pântanos e manguezais. Nesses sistemas são utilizados

microrganismos presentes nas raízes de plantas aquáticas para purificar a água. As instalações são feitas geralmente em pequenas proporções, sendo recomendado 1 metro quadrado por habitante na residência.

O objetivo do jardim filtrante é receber as águas vindas do chuveiro, tanques e pias, além de ser um complemento ao tratamento realizado pela fossa séptica biodigestora, removendo substâncias não biodegradáveis e agentes patógenos. O jardim filtrante tem a vantagem de ser relativamente simples de se instalar, não sendo necessária mão de obra especializada para sua construção, pois consiste basicamente na escavação de uma vala, que é coberta por brita sendo colocado acima dessa brita uma manta flexível de PVC, ou outro material equivalente, sendo então essa manta coberta com areia onde será realizado o plantio de determinadas espécies de plantas macrófitas ou macrófitas aquáticas que serão responsáveis por reter as impurezas da água, já os microrganismos presentes nas raízes desses vegetais são os responsáveis por fazer a decomposição dos poluentes e purificar a água.

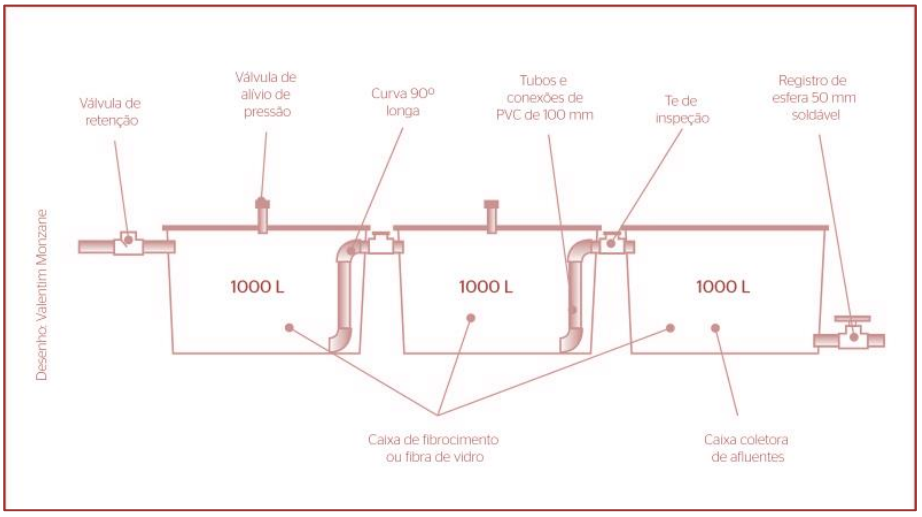
c) Fossas Sépticas Biodigestoras

A Embrapa Instrumentação Agropecuária desenvolveu o sistema de fossa séptica para o tratamento do esgoto em áreas rurais. Nessas áreas, segundo o IBGE cerca de 41% usam as chamadas “fossas negras” que não possuem nenhum tipo de coleta ou tratamento para o esgoto.

Com a utilização do sistema de fossa séptica biodigestora é possível conseguir o tratamento para os efluentes tornando-os menos ofensivos e de menor impacto ambiental, podendo ser utilizado para irrigação de algumas culturas Santos et al. (2012). O tratamento do sistema é feito por meio da adição de esterco bovino ou de ovino utilizado como inoculante de bactérias. O sistema é baseado no processo de biodigestão dos resíduos orgânicos como, por exemplo, proteínas, carboidratos e lipídios, através da decomposição por bactérias (Spadotto *et al.* 2006) tendo como resultado final resíduos tratados evitando assim a proliferação de doenças que são transmitidas através do consumo de água poluída (Pacco *et al.* 2014).

Seguindo o modelo desenvolvido pela EMBRAPA, o sistema de fossa séptica biodigestora é composto por duas caixas de fibrocimento de 1000 litros cada, conectadas exclusivamente ao vaso sanitário (pois as águas do chuveiro e da pia não apresentam potencial patogênico e sabão ou detergente possuem propriedade antibióticas que inibem o processo de biodigestão) e uma terceira caixa de 1000 litros que serve para coleta do efluente (adubo orgânico). A figura 2 mostra como funciona o sistema de fossa séptica biodigestor.

Figura 2 – Esquema do sistema da fossa séptica biodigestora



Fonte: Costa *et al.,* (2015).

O sistema de fossa séptica biodigestora utiliza processos biológicos para tratar os esgotos, processos esses em que os microrganismos utilizam a matéria orgânica disponível dentro de um reator biológico para obtenção da energia necessária para suas atividades e como fonte de matéria prima para se reproduzirem. Durante esses dois processos acontecem duas reações principais, a primeira é a respiração onde os microrganismos utilizam a matéria orgânica para obtenção de energia, tendo como resultados finais da respiração (CO_2 e H_2O) e a reação de síntese onde a matéria orgânica é usada como matéria prima para a reprodução dos microrganismos (Novaes *et al*., 2002).

Na fossa séptica biodigestor, os processos biológicos e as reações acontecem pela via anaeróbia, quando não se tem o oxigênio, mas se tem presença de nitrato ($N\text{-}NO^3$) podendo esse ser utilizado em substituição ao OD para a reação de respiração, tendo como resultado final da respiração o dióxido de carbono, água e a libração de N gasoso em uma reação chamada de desnitrificação. Na falta de oxigênio dissolvido e de $N\text{-}No_3$, a reação de respiração é anaeróbia e libera como produtos finais dióxidos de carbono e gás metano.

A digestão anaeróbia é um processo conhecido desde o final do século XIX ele é caracterizado por estabilizar a matéria orgânica em ambientes livre de oxigênio. Por ser relativamente fácil e possuir alta eficácia o processo de digestão anaeróbia é usado em tratamentos simples como na fossa séptica biodigestora e até em grandes estações de tratamento localizadas em grandes regiões metropolitanas. O processo anaeróbico tem como os seguintes objetivos:

- Reduzir os organismos patógenos;
- Reduzir os sólidos voláteis;
- E estabilizar as substancias instáveis no esgoto.

A digestão anaeróbia é muito utilizada para estabilização de esgoto devido a sua facilidade operacional e ser de baixo custo. Os produtos resultantes da digestão anaeróbia são o gás carbônico e o gás metano, tornando assim essa opção ainda mais viável devido ao seu potencial energético gerado durante a digestão. A digestão anaeróbia passa por um processo bioquímico com diferentes estágios, durante esse processo é capaz de estabilizar

os diferentes tipos de matéria orgânica. Ocorrendo basicamente em seis diferentes estágios (Jeyaseelan, 1997):

1) Hidrólise de biopolímeros orgânicos complexos (proteínas, carboidratos e lipídeos) em monômeros (aminoácidos, açucares e ácidos graxos de cadeia longa) por bactérias hidrolíticas (acidogênicas);
2) Fermentação de aminoácidos e açucares por bactérias hidrolíticas;
3) Oxidação anaeróbia de ácidos graxos voláteis e álcoois pelas bactérias heteroacetogênicas;
4) Oxidação anaeróbia de produtos intermediários tais como ácidos graxos voláteis pelas bactérias heteroacetogênicas;
5) Conversão de hidrogênio a metano pelas bactérias metanogênicas utilizando hidrogênio e dióxido de carbono;
6) Conversão de acetato a metano pelas bactérias metanogênicas utilizando acetato.

Dentro da câmara de biodigestão, podem ser encontrados três grupos de bactérias dependentes entres si: bactérias acetogênicas, bactérias acidogênicas hidrolíticas, e bactérias metanogênicas. As três populações de bactérias permanecem em equilíbrio dinâmico, alterando sua concentração de acordo com as condições de operação de cada biodigestor. Outros microrganismos encontrados dentro do biodigestor também desempenham papel fundamental no processo de digestão são as bactérias redutoras de sulfato e as bactérias desnitrificantes (Faustino et al., 2007).

3. METODOLOGIA

A pesquisa científica é para Rudio (1988, p.9) “um conjunto de atividades orientadas para a busca de um determinado conhecimento”. Esta seção dedica-se a explicar os procedimentos metodológicos que orientaram todas as fases de planejamento e execução desta pesquisa.

3.1. TIPO DE PESQUISA

Para suprir as necessidades da pesquisa em desenvolvimento, o problema foi abordado numa perspectiva “quali-quanti”, isto é, agregando características das pesquisas qualitativas e quantitativas. Nesse sentido, Godoy (1995, p. 58) explica que os estudos qualitativos “envolvem a obtenção de dados descritivos sobre pessoas, lugares e processos interativos pelo contato direto do pesquisador com a situação estudada, procurando compreender os fenômenos segundo a perspectiva dos sujeitos”. A pesquisa quantitativa considera que tudo pode ser quantificável, o que pressupõe a utilização de “métodos e técnicas para busca de sínteses e interpretações de um conjunto de dados numéricos” (Martins; Theóphilo, 2007, p.103).

Uma segunda classificação desta pesquisa, desta vez em relação aos objetivos, a classifica como exploratória e descritiva. O caráter exploratório da pesquisa foi escolhido como uma forma de proporcionar uma maior familiaridade com o problema, de modo a torná-lo mais explícito. Orientados para a descoberta, os planos exploratórios são usados para identificar as lacunas de informação e especificar a necessidade de pesquisa mais aprofundada (Babin; Jr; Money; Samouel, 2003).

Já em relação à pesquisa descritiva, Cervo *et al* (2007, p. 61) esclarecem que este tipo de pesquisa "busca conhecer as diversas situações e relações que ocorrem na vida social, política, econômica e demais aspectos do comportamento humano, tanto no indivíduo tomado isoladamente como de grupos e comunidades mais complexas".

Quanto aos meios utilizados, a pesquisa se classifica como bibliográfica e de campo. O método escolhido para tratar o problema foi o estudo de caso. O quadro 01 apresenta, em resumo, a classificação da pesquisa.

Quadro 01 - Resumo da classificação da pesquisa

CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	
Quanto à abordagem do problema	Qualitativa e Quantitativa
Quanto aos objetivos	Exploratória e Descritiva
Quanto aos meios	Bibliográfica e de campo
Quanto ao método	Estudo de caso

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2. ESCOLHA DO OBJETO DE ESTUDO

A escolha do tema para este trabalho está relacionado às más condições de abastecimento e, principalmente, saneamento básico das comunidades rurais, devido a grande problemática que estas enfrentam, sobretudo, no tratamento e destinação dos efluentes líquidos provenientes de suas residências.

A comunidade de Tipis localiza-se na zona rural do município de Iguatu-CE. A mesma foi escolhida para ser o objeto de estudo devido as suas características bem acentuadas de uma comunidade tipicamente rural, e por apresentar as condições necessárias para a realização do estudo.

3.3. COLETA DE DADOS

Os dados para a pesquisa foram obtidos por meio da coleta em campo, utilizando-se de entrevista com perguntas fechadas e abertas (semiestruturada), além do registro de imagens (material fotográfico). Os entrevistados, moradores da comunidade de Tipis, foram abordados em suas residências. Os dados foram coletados durante o mês de outubro de 2018.

A construção do instrumento de coleta de dados levou em consideração o referencial teórico levantado. Foi utilizado o mesmo questionário para todos os entrevistados. As perguntas foram organizadas em três blocos, sendo o primeiro relacionado ao perfil socioeconômico dos entrevistados, o segundo referente à infraestrutura de abastecimento, saneamento e esgotamento sanitário e, por fim, o terceiro bloco de perguntas referia-se às questões relacionadas à saúde do respondente e sua família.

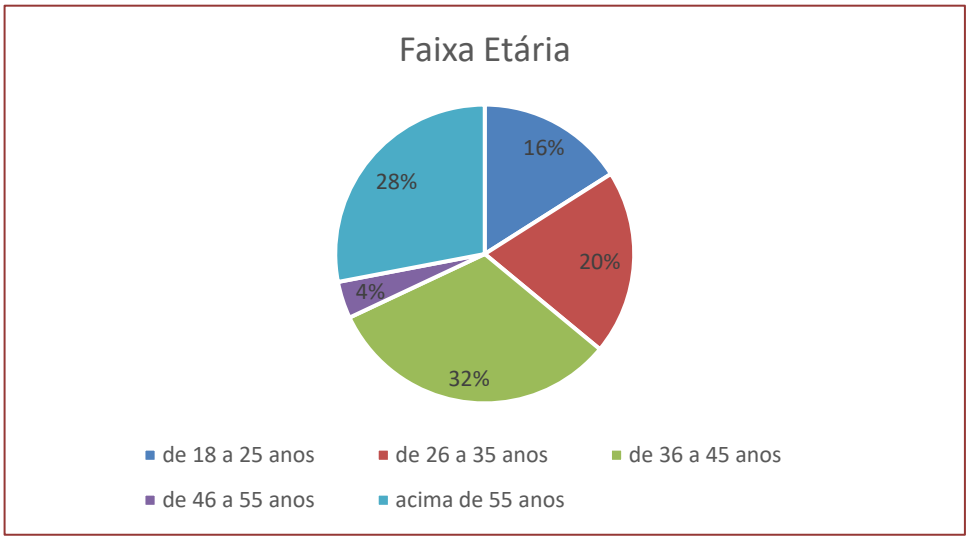
Durante a aplicação dos questionários, foram registradas imagens fotográficas da realidade encontrada nas residências dos entrevistados, no tocante ao esgotamento sanitário (Anexo A).

Foram entrevistados, neste trabalho, 25 pessoas da comunidade, onde 76% são do gênero feminino e 24% do gênero masculino (gráfico 1). Na época, 32% dos entrevistados tinham entre 36 e 45 anos (gráfico 2).

Gráfico 1 – sexo dos respondentes

Fonte: próprio autor.

Gráfico 2 – faixa etária dos respondentes.



Fonte: próprio autor.

3.4. ANÁLISE DE DADOS

"A análise dos dados consiste no exame, na categorização, na tabulação, no teste ou nas evidências recombinadas de outra forma, para tirar conclusões baseadas empiricamente" (Yin, 2010, p. 154).

Após serem realizadas as entrevistas, os dados obtidos foram transferidos para o programa Microsoft Excel 2010, onde foram gerados gráficos, sendo os mesmos analisados posteriormente. As imagens obtidas durante as entrevistas foram realizadas por meio de aparelho celular.

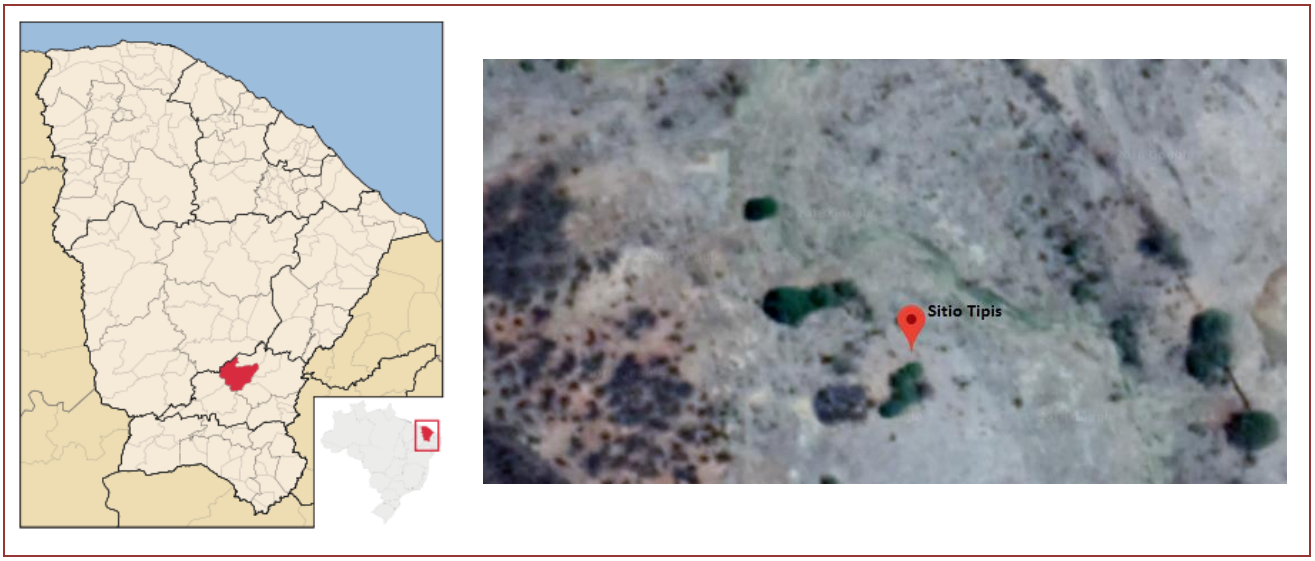
A análise foi feita com base no referencial teórico estudado.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO

A comunidade de Tipis possui uma população de 520 habitantes, inseridos em 120 famílias. A mesma localiza-se a uma distância aproximada de 22 km da sede do município a cidade de Iguatu-CE.

Figura 3 – Vila Tipis, Iguatu – CE



Fonte: GoogleMaps.

O presente trabalho foi desenvolvido entre os meses de Setembro e Outubro de 2018. Utilizou-se o diagnóstico qualiquantitativo (Anexo I) da situação do saneamento básico da comunidade, com questões referentes à vulnerabilidade financeira das famílias, abastecimento de água, destinação final dos efluentes (líquidos) domésticos de cada residência, além de questões relacionadas a saúde e prevenção de doenças relacionadas a qualidade da água consumida. O questionário foi aplicado de maneira que, no mínimo 25% das famílias da comunidade respondessem ao questionário. Foram sorteadas vinte e cinco moradias, correspondente a 21% do total de residências, o que permitiu qualificar os dados de forma genérica. As perguntas foram feitas em forma de questionário fechado e por meio de diálogo com respostas abertas para os moradores da comunidade (Figura 4). Após as perguntas e de acordo com as repostas dos moradores, foram sugeridas novas perguntas. Após a aplicação dos questionários, as respostas foram analisadas e utilizadas para o levantamento do diagnóstico das condições do saneamento básico da comunidade.

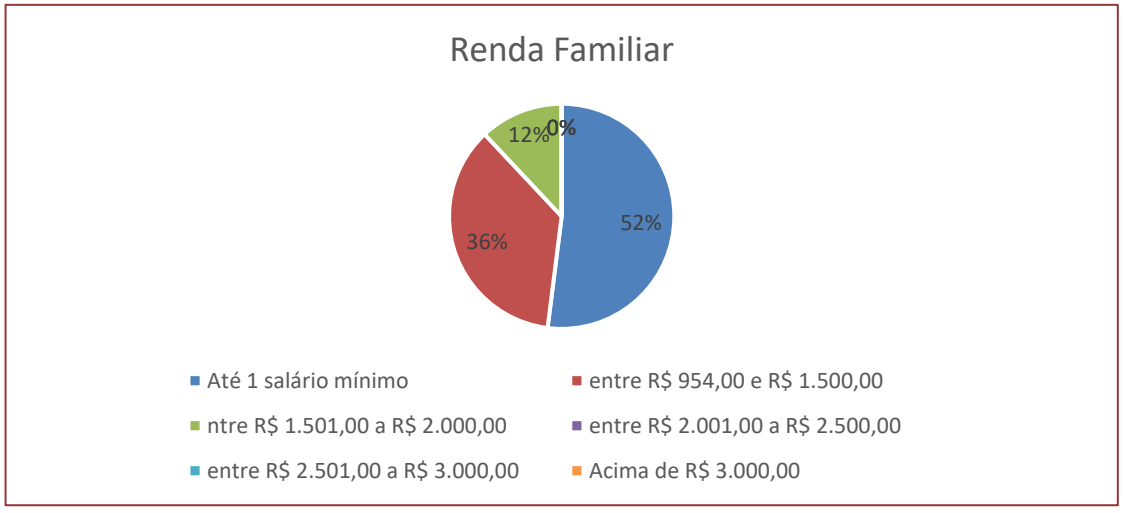
Figura 4 – Aplicação do questionário

Fonte: próprio autor.

4.2. PERFIL SOCIOECONÔMICO DOS ENTREVISTADOS

As famílias da comunidade de Tipis são constituídas, em média, por três membros com renda familiar de até 1 salário mínimo (gráfico 3), com predominância de baixo grau de escolaridade, até a 3ª série do ensino fundamental (gráfico 4).

Gráfico 3 – Renda familiar média dos respondentes

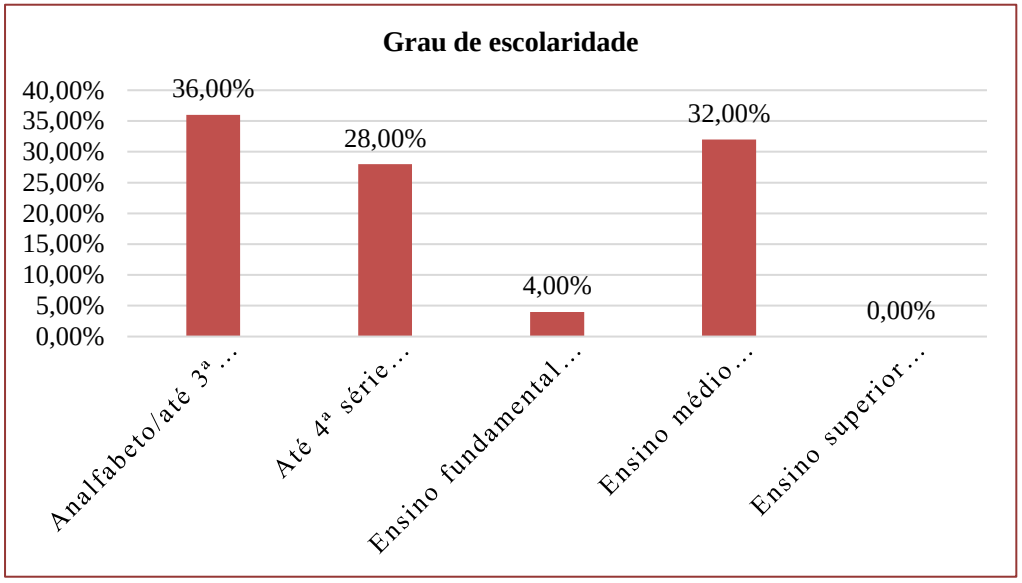


Fonte: próprio autor.

Como pode ser observado no gráfico 1, 52% das famílias entrevistadas vivem com renda familiar de até 1 salário mínimo, que atualmente está em R$ 954,00 (novecentos e cinquenta e quatro reais), e 36% até R$ 1.500,00.

Em relação ao grau de escolaridade, chama a atenção que nenhum dos entrevistados possui ensino superior e a grande maioria realizou seus estudos no máximo até a 4ª série do ensino fundamental, sendo o item "analfabeto/até 3ª série do ensino fundamental" o mais representativo, conforme pode ser visto no gráfico 4.

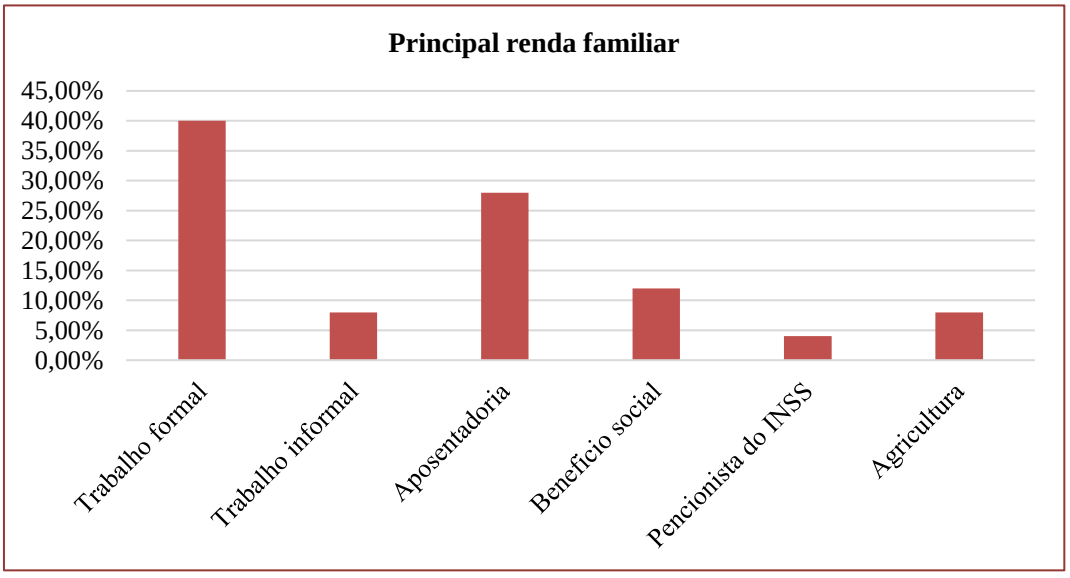
Gráfico 4 – grau de escolaridade dos respondentes



Fonte: próprio autor.

Em média 40% dos entrevistados responderam que a principal fonte de renda das famílias vem do trabalho formal (gráfico 5). Durante a entrevista os respondentes que tem trabalho formal afirmaram que a maioria desses trabalhos é na indústria calçadista, mais especificamente em uma multinacional (DAKOTA Iguatu S/A) instalada na sede da cidade, segundo relato dos moradores: *"Trabalho aqui é difícil, [...] nossa sorte é a DAKOTA. [...] Meu filho trabalha na DAKOTA foi o que ele conseguiu. [...]Trabalho aqui só na prefeitura ou na DAKOTA"*.

Gráfico 5 – Principal fonte de renda dos respondentes



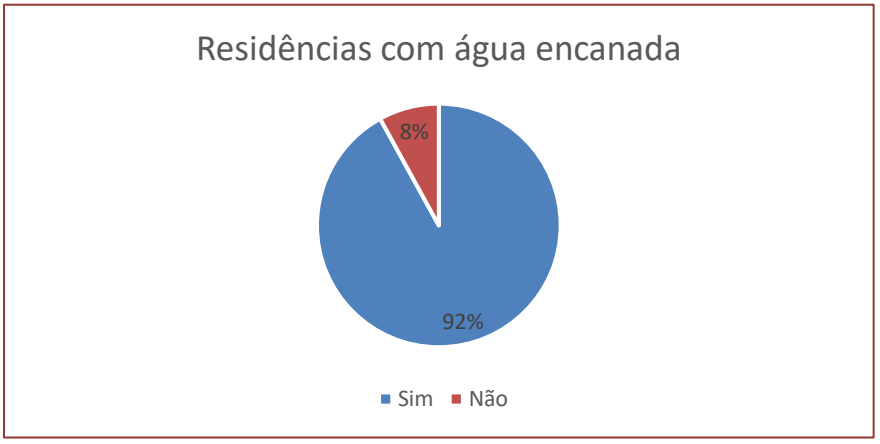
Fonte: próprio autor.

4.3. CONDIÇÕES DE INFRAESTRUTURA DA HABITAÇÃO PARA O ESGOTAMENTO SANITÁRIO

Em relação às condições de infraestrutura dos moradores, detalhe importante a ser citado é que 92% das residências possuem água encanada (gráfico 6). Sendo que 96% dos moradores utilizam água oriunda de poço e cisterna (gráfico 7). Dos entrevistados, 88% afirmam que a água utilizada para beber não é a mesma utilizada nos demais serviços (gráfico 8), sendo comentado pelos entrevistados que a água utilizada para beber e preparar as refeições é oriunda das cisternas de placa, construídas pelo governo federal como estratégia para minimizar os impactos durante o período de estiagem, já para os demais serviços é utilizada a água de um poço tubular profundo que abastece toda a comunidade.

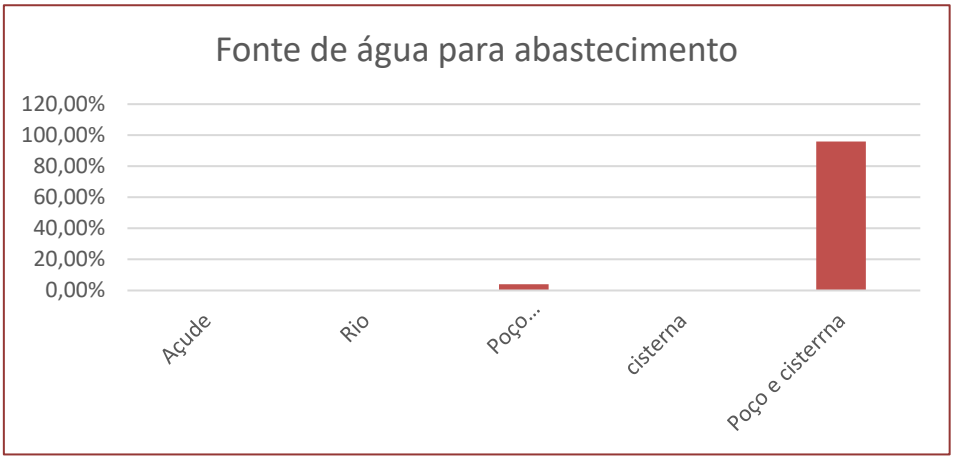
> *Usamos a água da cisterna para beber, [ ] e do poço para lavar roupa e pros animais. [ ] Nossa sorte é esse poço, sem ele não teríamos de onde tirar água pros animais. [ ] A água da cisterna só usamos pra beber e cozinhar se não acaba ligeiro.*

Gráfico 6 – percentual de residências com água encanada



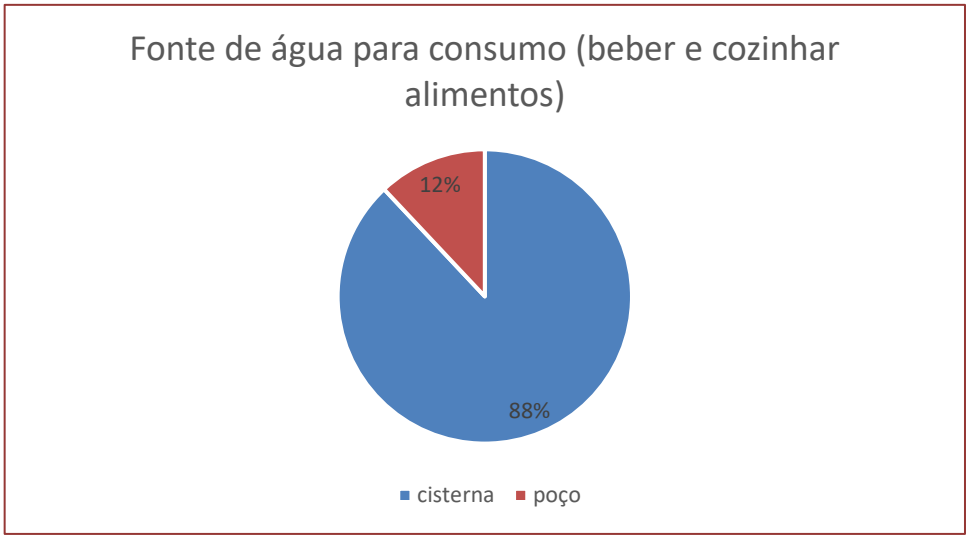
Fonte: próprio autor.

Gráfico 7 – fontes de água utilizadas para o abastecimento da comunidade



Fonte: próprio autor.

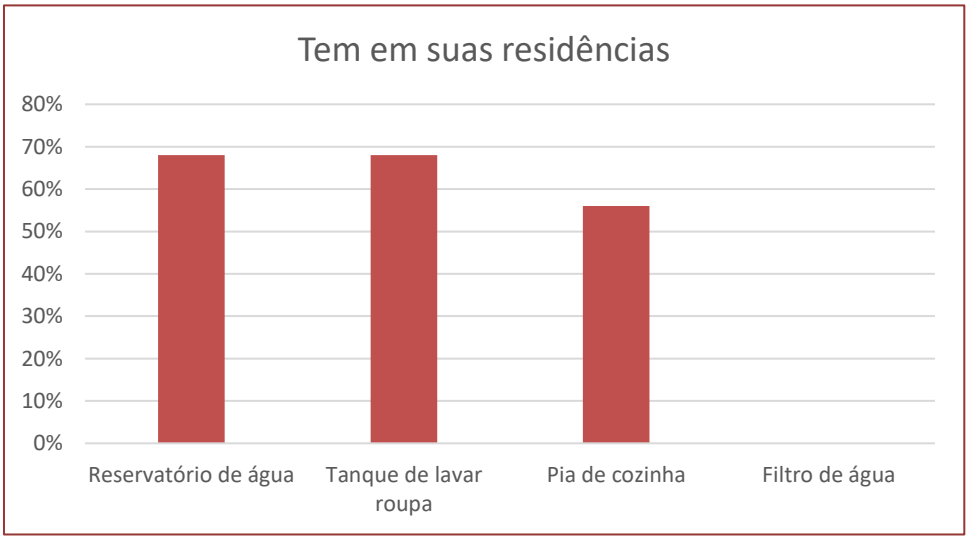
Gráfico 8 – percentual da fonte de água utilizada para consumo



Fonte: próprio autor.

Fato relevante a ser destacado é que 68% das residências possuem reservatório de água, sendo que o mesmo percentual de residências possui tanque de lavar roupa. Entretanto, apenas 56% afirmaram que possuíam pia na cozinha. Dos moradores entrevistados todos afirmaram que suas residências não possuíam filtro de água (Gráfico 9).

Gráfico 9 – Componentes da residência



Fonte: próprio autor.

Na comunidade não há esgotamento sanitário, fazendo assim com que 100% das residências que possuem banheiro utilizem a chamada fossa “negra” para descarte (figura 05). Já para o esgotamento das pias e lavatórios, o esgotamento é realizado ao ar livre sendo disposto no quintal das residências (figura 06).

Figura 5 – Fossa rudimentar

Fonte: próprio autor.

Figura 6A – Esgoto da pia de lavar roupa (correndo a céu aberto)

Fonte: próprio autor.

Com relação ao tratamento do esgoto doméstico, todos os entrevistados afirmaram que o esgoto produzido em suas residências não passa por nenhum tipo de tratamento sendo descartado de forma inadequada após ser gerado, sendo descartado in natura dentro de fossas rudimentares.

Esse descarte inadequado do esgoto doméstico é explicado pela falta de ligação das residências com uma rede coletora de esgoto, assim todo o esgoto produzido nas residências é descartado de forma inadequada e sem passar por nenhum tratamento.

Foi perguntado também aos moradores se os mesmos conheciam a fossa séptica biodigestora ou alguma outra tecnologia para tratamento do esgoto residencial, e o resultado obtido foi que todos os moradores desconhecem essa tecnologia assim como não tem conhecimento sobre nenhuma outra tecnologia.

A fossa séptica biodigestora é utilizado em substituição ao sistema conhecido como fossa negra, é um sistema rústico que consiste em escavar um buraco próximo a casa e canalizar o esgoto da casa para o mesmo (Lima, et al. 2012). Esse sistema resolve o problema do lançamento de efluentes sem tratamento nos corpos hídricos, mas gera outro grande problema ambiental com o tempo o esgoto acumulado dentro da fossa acaba se infiltrando através dos poros no solo e chega ao lençol freático contaminando assim o mesmo (Novaes et al., 2005).

Por se tratar de um biodigestor, o gás produzido pela decomposição da matéria orgânica pode ser canalizado e utilizado na combustão interna de motores para produção de energia elétrica (Lima, et al. 2012). Outra grande vantagem da utilização da fossa séptica

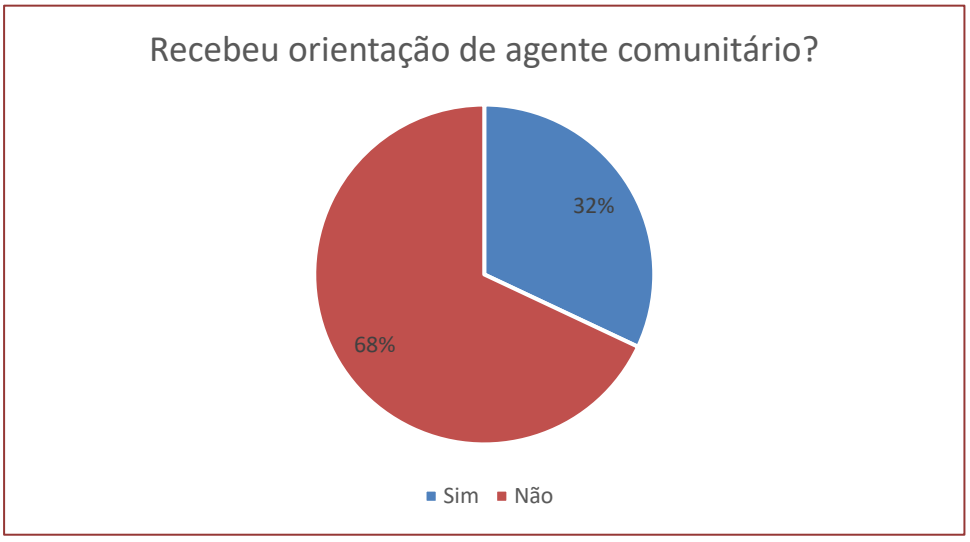
biodigestora é que a mesma realiza de forma relativamente simples o tratamento dessas águas residuais promovendo assim a emissão de efluentes tratados e de menor potencial contaminante permitindo a utilização do efluente resultante para irrigação e adução de plantas frutíferas, pastagens, jardins dentre outras possibilidades (Silva et al. 2007).

A fossa séptica biodigestora pode ser utilizada como solução para o tratamento do esgoto rural, além de ser fonte de adubo podendo ser utilizado por pequenos agricultores. Com a utilização desta tecnologia pode-se resolver ou minimizar dois grandes problemas enfrentados por comunidades rurais. O primeiro é o lançamento de efluentes contaminados nos corpos hídricos e o segundo é a proliferação de doenças transmitidas pela ingestão de água contaminada (Costa; Guilhoto, 2015).

4.4. CONDIÇÕES DA SAÚDE DA FAMÍLIA

Ao serem questionados quanto ao trabalho dos agentes comunitários de saúde no sentido de orientação sobre as formas adequadas de armazenamento e tratamento da água para o consumo, 68% dos moradores da comunidade de Tipis afirmaram que nunca receberam orientações desses profissionais (Gráfico 10). Outro dado preocupante é que 50% dos moradores que afirmaram já ter recebido instruções dos agentes comunitários, dizem que isso ocorreu a mais de 6 anos.

Gráfico 10 – Grau de instrução dos moradores

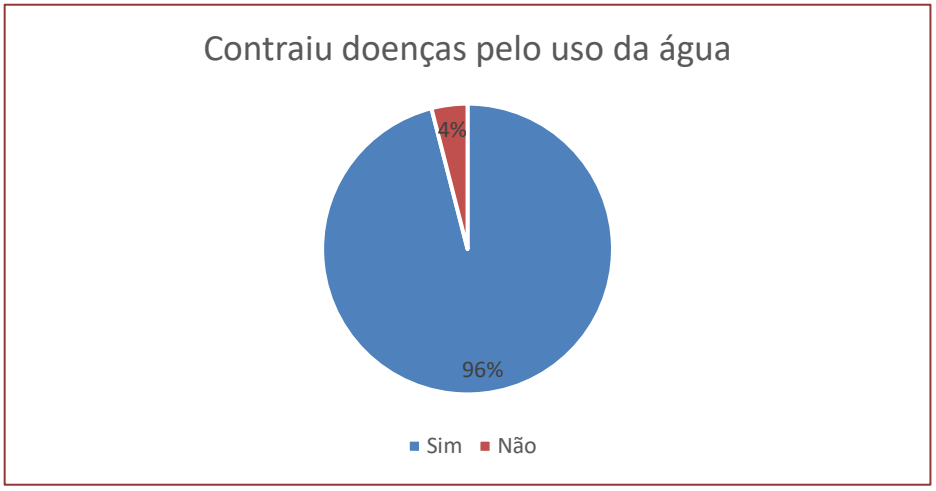


Fonte: próprio autor.

Por outro lado, um dado a ser comemorado é que todas as pessoas que afirmaram ter recebido orientação dos agentes comunitários de saúde também alegam ter seguido as orientações dos mesmos. Entretanto, essa informação é contrariada quando observamos o gráfico a seguir, onde 96% dos entrevistados afirmam que algum membro de sua família já contraiu alguma doença pelo uso da água (Gráfico 11). Esse percentual de pessoas acometidas por doenças devido a ingestão de água contaminada, pode ser explicado pelas palavras de alguns moradores que relataram o seguinte:

> *As agentes de saúde nunca mais vieram aqui em casa, [...]nem lembro quando foi a ultima vez que deram o cloro pra botar na água. [...] As pessoas vão esquecendo de cuidar da água pra beber.*

Gráfico 11 – Percentual de pessoas que contraíram doenças pelo consumo de água.

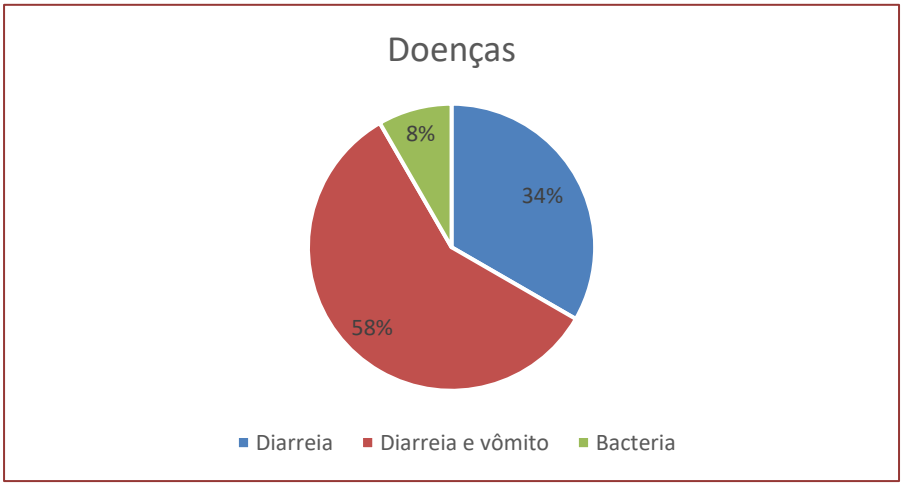


Fonte: próprio autor.

Quando questionados sobre as doenças mais frequentes devido ao consumo de água, 58% dos habitantes da comunidade afirmaram que diarreia e vomito são as doenças que ocorrem com maior frequência. Segundo Brasil (2006) a saúde de uma população pode ser colocada em risco quando a mesma tem a sua disponibilidade água contaminada por agentes biológicos (bactérias, vírus e parasitas), podendo ocorrer por meio da ingestão, contato direto ou por meio de insetos vetores que utilizam a água para se reproduzirem.

> *Todo ano no começo do inverno as pessoas ficam doentes, [ ] sempre foi assim desde nossos avós. [ ] Aqui em casa no inverno sempre tem alguém doente de diarreia ou vomitando.*

Gráfico 12 – Tipos de doenças que afetam a comunidade



Fonte: próprio autor.

Quando questionados também sobre qual membro da família era mais acometido por doenças relacionadas ao consumo de água mais de 50% afirmaram que os adultos foram os mais afetados, seguidos pelas crianças e idosos com 30 e 11% respectivamente. O fato da população adulta ter maior incidência de doenças pode ser explicado pelo maior número de adultos em relação a crianças e idosos. Por serem adultos, há uma menor chance de agravamento dessas doenças. Sendo que em crianças ou idosos a chance de uma evolução dessas doenças é maior, podendo chegar até ao óbito.

Como os adultos representam grande parte da força de trabalho e produtiva, o acometimento de doenças pelos mesmos gera perdas para a economia além de maiores gastos no sistema de saúde. Esse fato é ainda mais preocupante quando observamos que os entrevistados afirmaram que a incidência dessas doenças ocorre entre um e duas vezes ao ano.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho revelou a precariedade da comunidade de Tipis em relação ao esgotamento sanitário das residências, sendo relatado pelos moradores a falta de uma coleta e tratamento adequado para o efluente gerado nas residências.

O acometimento de grande parte da população por doenças gera percas da força de trabalho da comunidade, além de aumentar os gastos com o sistema único de saúde (SUS). Gerando assim grande perca econômica.

A falta de orientação constante dos moradores sobre o uso de tecnologias para tratar a água antes do consumo, é identificado também como um dos grandes problemas encontrado na comunidade.

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer primeiramente a Deus por todas as coisas que aconteceram até aqui.

Quero agradecer também aos meus pais e a minha irmã pela força e incentivo para continuar nesta jornada.

Gostaria de agradecer também a todos que fazem parte da UNILAB que de maneira direta ou indireta contribuíram para que tudo fosse possível.

Quero agradecer a todos os meus amigos, aos antigos que estão comigo a muitos anos e aos novos que conheci durante essa caminhada.

REFERÊNCIAS

[1] Agência IBGE noticias – Acessado em 07/09/2018. <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/20979-norte-e-nordeste-convivem-com-restricoes-no-acesso-a-saneamento-basico.html>

[2] ALVES, B. S. Q. Banheiro Seco: Análise da eficiência de protótipos em funcionamento. Trabalho de conclusão de curso –Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

[3] BERGER, W. Basic overview of composting toilets (with or without urine diversion). Technology Review “Composting toilets”. Eschborn, Alemanha: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, 2010.

[4] BORGES, M. J.; GALBIATTI, J. A.; FERRAUDO, Antonio Sergio. Monitoramento da qualidade hídrica e eficiência de interceptores de esgoto em cursos d'água urbanos da bacia hidrográfica do córrego Jaboticabal. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 8, n. 2, p. 161-171, 2003.

[5] BRASIL, T. acesso em Setembro: 2018 <https://tratabr.wordpress.com/2017/01/17/reflexos-do-saneamento-no-mundo>

[6] BRASIL. FUNASA. (2006). **Manual de saneamento**. 4. ed. rev. – Brasília: Fundação nacional de saúde.

[7] CETESB. Acessado em 21 de Setemro de 2018. <https://cetesb.sp.gov.br/>

[8] CEPAL. Acessado em 21 de Setembro de 2018 <https://www.cepal.org/pt-br>

[9] COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, CETESB. Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo. **São Paulo**, 2004.

[10] COSTA, C. C.; GUILHOTO, J. M. Saneamento Rural no Brasil: impacto da fossa séptica biodigestora. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. v. 1, n. 1, 2015.

[11] DE NOVAES, Antonio Pereira et al. Utilização de uma fossa séptica biodigestora para melhoria do Saneamento Rural e desenvolvimento da Agricultura Orgânica. **Embrapa Instrumentação Agropecuária**, 2002.

[12] DOS SANTOS, J. G.; PIVELI, R. P.; CAMPOS, F.; SUNDEFELD, G.; SOUSA, T. S.; CUTOLO, S. A. Análise parasitológica em efluentes de estações de tratamento de águas residuárias. **Revista de patologia Tropical**, v. 41, n. 3, 2012.

[13] ESPÍNDOLA, E. L. G., BRIGANTE, J. Projeto Mogi-Guaçu: desenvolvendo ações socioambientais. São Carlos/SP: **Editora RiMa**, 2009.

[14] ESREY, S. A. Water, waste, and well-being: a multicountry study. **American journal of epidemiology**, v. 143, n. 6, p. 608-623, 1996.

[15] FAUSTINO, A. S. Estudos físico-químicos do efluente produzido por fossa séptica biodigestora eo impacto do seu uso no solo. 2007.

[16] GIESEKE, A.; ARNZ, P.; AMANN, R.; SCHRAMM, A. Simultaneous P and N removal in a sequencing batch biofilm reactor: insights from reactor and microscale investigation. Water Research , v. 36, p. 501-509, 2002.

[17] GOMES, S. B.V.; NASCIMENTO, C. W.A.; BIONDI, C. M. Produtividade e composição mineral de plantas de milho em solo adubado com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 5, p. 459-465, 2007.

[18] GIORDANO, G. Tratamento e controle de efluentes industriais. **Revista ABES**, v. 4, n. 76, 2004.

[19] HENRIQUE, I. N.; DE SOUSA, J. T., DE FREITAS, S. A. L.; LEITE, V. D.; LOPES, W. S. Tratamento de esgoto doméstico em regime de recirculação com utilização de reator anaeróbio anóxico seguido de reator aeróbio com meio suporte. **Ciência & Engenharia**, v. 23, n. 1, p. 103-113, 2014.

[20] HESPANHOL, I. Potencial de reuso de água no Brasil: agricultura, indústria, municípios, recarga de aqüíferos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 7, n. 4, p. 75-95, 2002.

[21] IBGE. Acessado em 21 de Setembro de 2018. <https://www.ibge.gov.br/pt/inicio.html.>

[22] JEYASEELAN, S. A simple mathematical model for anaerobic digestion process. **Water science and technology**, v. 35, n. 8, p. 185-191, 1997.

[23] KIM, Y. M.; CHON, D.; KIM, H.; PARK, C. Investigation of bacterial community in activated sludge with an anaerobic side-stream reactor (ASSR) to decrease the generation of excess sludge. **Water Research**, v. 1, p. 1-9,2012.

[24] LIMA, S. F. T.; PEREIRA, C. D. S. S.; PEREIRA, A. R.; CÂNDIDA, S. F. D. F. Projeto de implantação de sistema de fossa séptica biodigestora e clorador no Sítio Rio Manso/RJ. **Revista Fluminense de Extensão Universitária**, v. 2, n. 2, p. 11-26, 2012.

[25] OMS. Acessado em 21 de Setembro 2018 < http://www.who.int/eportuguese/countries/bra/pt/>

[26] ONUBR. Acessado em 21 de Setembro 2018. < https://nacoesunidas.org/onu-45-bilhoes-de-

pessoas-nao-dispoem-de-saneamento-seguro-no-mundo/>

[27] Pacco, H. C.; Rinaldi, M. M.; Sandri, D.; Neves, P. H. C.; Valente, R. R. M. Características de tomate producido con agua tratada en interior y exterior de invernadero Horticultura Brasileira, 32, n. 4, out. - dez. 2014.

[28] Peres, L. J. S.; Hussar, G. J. Beli, E. Eficiência do tratamento de esgoto doméstico de comunidades rurais por meio de fossa séptica biodigestora. **Revista Engenharia Ambiental, Espírito Santo do Pinhal-SP**, v. 7, n. 1, p. 020-036, 2010.

[29] SILVA, W. T. L.; FAUSTINO, A. S.; NOVAES, A. P. Eficiência do Processo de Biodigestão em fossa Séptica Biodigestora Inoculada com Esterco Ovino. São Carlos, SP. **Embrapa Instrumentação Agropecuária**, 2007.

[30] SPERLING, MARCOS VON. Principios do Tratamento do Biológico de Águas Residuais. Introdução a qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 2. Ed. Belo Horizonte: UFMG, 1996.

[31] SPADOTTO, Claudio A.; RIBEIRO, Wagner Costa. **Gestão de resíduos na agricultura e agroindústria**. Botucatu: FEPAF, 2006. Botucatu: Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais. p. 262-275.

[32] TUNDISI, J.G. Água no século XXI – enfrentando a escassez. **Rima Editora**, São Carlos, 2003. 247p.

[33] UNICEF. Acessado em 21 de Setembro de 2018. <https://www.unicef.org/brazil/pt/>

[34] VANLENGEN, J. BASON, sanitário seco. Tecnologia intuitiva e bio-arquitetura (TIBÁ). Bom Jardim, Rio de Janeiro, 2004.

APÊNDICE A – ENTREVISTA NORTEADORA

QUESTIONÁRIO

Este questionário faz parte da pesquisa para conclusão do curso de especialização em Gestão de Recursos Hídricos, Ambientais e Energéticos, da UNILAB, aplicado no projeto de monografia de Luiz Romário Uchôa, sob a orientação da Professora Lígia Carla de Lima Souza, que tem como tema: "DIAGNÓSTICO DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO NA COMUNIDADE RURAL DE TIPIS, MUNICÍPIO DE IGUATU-CE".

Data: __/__/__

BLOCO 1: Caracterização do Perfil Social e Econômico do respondente

1. Sexo do respondente:

( ) Feminino ( ) Masculino

2. Faixa etária do respondente:

( ) de 18 a 25 anos ( ) de 26 a 35 anos ( ) de 36 a 45 anos ( ) de 46 a 55 anos

( ) acima de 55 anos

3. Quantas pessoas moram na residência do respondente?

( ) Mora sozinho ( ) 2 pessoas ( ) 3 pessoas ( ) 4 pessoas ( ) 5 pessoas

( ) acima de 5 pessoas

4. Qual a renda familiar?

( ) Até 1 salário mínimo (R$ 954,00) ( ) entre R$ 954,00 e R$ 1.500,00

( ) entre R$ 1.501,00 a R$ 2.000,00 ( ) entre R$ 2.001,00 a R$ 2.500,00

( ) entre R$ 2.501,00 a R$ 3.000,00 ( ) Acima de R$ 3.000,00

5. Qual a principal fonte de renda familiar? (ex: aposentadoria, trabalho formal, agricultura, etc)

R: _____

6. Qual o grau de escolaridade do respondente?

( ) Analfabeto/até 3ª série fundamental ( ) Até 4ª série fundamental

( ) Ensino fundamental completo ( ) Ensino médio completo

( ) Ensino superior completo

7. O respondente é o chefe da família?

( ) sim ( ) não

8. Qual dos itens abaixo, há na casa do respondente?

		Quantidade
( )	Televisão em cores	
( )	Rádio	
( )	Banheiro	
( )	Automóvel	
( )	Empregada mensalista	
( )	Máquina de lavar	
( )	DVD	
( )	Geladeira	
( )	Freezer	

BLOCO 2: Condições de infra-estrutura da habitação para o esgotamento sanitário

9. Situação da residência?

( ) Própria ( ) Alugada ( ) Cedida ( ) compartilhada

10. Estrutura da residência?

( ) alvenaria/tijolo ( ) taipa ( ) madeira ( ) taipa e alvenaria ( ) outro(s)

11. Quais e quantos dos cômodos citados abaixo fazem parte da residência?

CÔMODOS	Nº DE CÔMODOS					
	1	2	3	4	5	Mais de 5
Sala						
Cozinha						
Quarto						
Banheiro						
Garagem						

12. A residência possui água encanada?

( ) SIM ( ) NÃO

13. Qual a fonte de água utilizada para abastecimento da residência?

( ) açude ( ) rio ( ) poço artesiano/cacimbão ( ) cisterna ( ) água encanada CAGECE

14. Qual a qualidade da água utilizada na residência?

( ) ótima ( ) boa ( ) ruim ( ) péssima ( ) Não tenho essa informação

15. Quais desses itens, o respondente tem em casa? (pode marcar mais de uma opção)

( )reservatório de água

( ) tanque de lavar roupa

( )pia de cozinha

( ) filtro de água

16. Qual a forma de esgotamento sanitário utilizado em sua residência?

( ) ligada a rede de esgoto ( ) fossa rudimentar ( ) sumidouro

( ) descarte ao ar livre ( ) descarte em rio/açude ( )outra

Se outra responder, qual? _____

17. A água das pias e lavatórios é jogada onde?

( ) ligada a rede de esgoto ( ) fossa rudimentar ( ) sumidouro

( ) descarte ao ar livre ( ) descarte em rio/açude ( )outra

Se outra responder, qual? _____

18. O esgoto do banheiro é jogado onde?

( ) ligada a rede de esgoto ( ) fossa rudimentar ( ) sumidouro

( ) descarte ao ar livre ( ) descarte em rio/açude ( )outra

Se outra responder, qual? _____

19. O esgoto da residência recebe algum tipo de tratamento?

( ) sim ( ) não

Se sim, qual? _____

20. Você já ouviu falar sobre as fossas sépticas biodigestoras ou outras alternativas tecnológicas para o esgotamento sanitário?

( ) sim ( ) não

Se sim, quais? _____

BLOCO 3: Condições da saúde da Família

21. A água utilizada para consumo (beber e fazer refeições) é a mesma utilizada para as outras atividades?

( ) sim ( ) não

Se não, qual a fonte de água utilizada para beber? _____

22. Vocês recebem ou já receberam alguma orientação de agente comunitário sobre o armazenamento de água ou prevenção e doenças?

( ) sim ( ) não

Se sim responda:

Quando foi a ultima vez que você recebeu orientação do agente comunitário sobre o armazenamento de água ou prevenção e doenças? _____

23. Você seguiu as orientações de agente comunitário?

( ) sim ( ) não

Se não responda, por que não?
_____

24. Você ou alguém da sua família já contraiu alguma doença por causa da água consumida?

( ) sim ( ) não

25. Quais membros da sua família já ficaram doentes?

( ) criança ( ) adulto ( ) idoso

26. Qual a doença e por quanto tempo?

Descreva: _____

27. Qual a frequência dessas doenças?

Descreva: _____

APÊNDICE B – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

UNIVERSIDADE DA INTEGRAÇÃO INTERNACIONAL DA LUSOFONIA AFRO-BRASILEIRA
INSTITUTO DE ENGENHARIAS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO LATO SENSU EM GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS, AMBIENTAIS E ENERGÉTICOS

Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

Meu nome é ----------, estou realizando uma pesquisa intitulada: "----------" para o meu trabalho de conclusão de curso, requisito obrigatório para obtenção do grau de Especialista em Gestão de Recursos Hídricos, Ambientais e Energéticos.
A pesquisa visa ----------

---.

Para realização desta pesquisa conto com sua participação voluntária, respondendo a uma ----------. É importante salientar que será explicado todo o conteúdo da entrevista e poderá perguntar sobre qualquer dúvida que este possa apresentar. É imprescindível que saiba a importância de sua participação para a condução dessa pesquisa, porém caso deseje não participar ou desistir de contribuir, tem total liberdade para fazê-lo. A pesquisa está sendo conduzida por mim e orientada pela professora Lígia Carla de Lima Souza (UNILAB). Toda e qualquer informação que permita identifica-lo será omitida e sua identidade será mantida no mais absoluto sigilo. Este termo apresenta duas vias, ambas assinadas por mim e pelo (a) senhor (a), ficando uma cópia para cada um.

Jaguaribe, ___de _____de 2018.

_____ _____

Vinícius Facundo Xavier (Pesquisador) (Colaborador)

Participante da pesquisa

Vinícius Facundo Xavier
Email:
Tel.:

Capítulo 8

Gerenciamento operacional da Estação de Tratamento de Esgoto do município de Tacaimbó – PE

Marcella Vianna Cabral Paiva
Silvanete Severino da Silva
Luára dos Santos Soares
Silvia Mariana da Silva Barbosa
Elisabeth Laura Alves de Lima

Resumo: A eficiência no tratamento de esgoto é crucial para a preservação ambiental e a saúde pública. A gestão operacional das Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) deve ser executada com a implementação de sistemas de gerenciamento que promovem melhoria no planejamento, desempenho e a padronização de procedimentos. Nesse contexto, este estudo tem o objetivo de analisar a eficiência da ETE Tacaimbó, avaliando a influência das práticas de limpeza e manutenção em diferentes etapas do bombeamento e tratamento do esgoto. A pesquisa foi desenvolvida com base no monitoramento das atividades diárias de limpeza e manutenção na ETE e Estações Elevatórias de Esgoto (EEE´s) em Tacaimbó, comparando essas atividades com os resultados das análises físico-químicas e biológicas do esgoto. Os dados revelaram uma diferença significativa na quantidade atividades de limpeza e manutenção nas unidades operacionais entre 2022 e 2023, com destaque para um aumento expressivo em 2023. A atenção especial às peneiras estáticas, com limpezas duas vezes ao dia, destacou-se como uma mudança relevante que pode impactar positivamente na eficiência do tratamento. Os resultados das análises de 2023, indicaram melhorias na eficiência, especialmente na Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO). A relação entre o aumento nas limpezas e a melhoria eficiência de tratamento destaca a importância do planejamento e acompanhamento das limpezas e manutenções nas ETEs e EEE´s. O aumento nas limpezas e manutenções em 2023, contribuiu para a redução de acumulação de resíduos refletindo positivamente na eficiência operacional da ETE Tacaimbó e destacando a importância das práticas de limpeza periódicas para a melhoria contínua no tratamento de esgoto, atendimento da exigências dos órgãos fiscalizadores e da legislação ambiental, além de contribuir para qualidade do corpo receptor do esgoto tratado.

Palavras - chave: estação de tratamento de esgoto, monitoramento, eficiência operacional.

1. INTRODUÇÃO

Segundo Brasil (2007), o saneamento é conceituado como a integração de serviços, infraestrutura e instalações operacionais que abrangem o abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza e drenagem urbana, gestão de resíduos sólidos e controle de águas pluviais. Esta abrangente definição delineia as diversas áreas de atuação essenciais para a preservação ambiental e promoção da saúde pública.

Para Moraes (2011), a gestão eficaz do tratamento de esgoto desempenha um papel fundamental na preservação ambiental e na promoção da saúde pública. À medida que as Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) evoluem para enfrentar desafios crescentes, a eficiência operacional torna-se um ponto focal e a periodicidade das limpezas emerge como um fator crítico.

Para tanto, a COMPESA precisou gerenciar os serviços de coleta, bombeamento e tratamento de esgoto de maneira eficaz, baseando-se em legislações que regulamentam os parâmetros e padrões para o tratamento de esgotos e lançamento do efluente tratado nos corpos receptores, assim como a operação das unidades de bombeamento e tratamento do esgoto, sendo elas:

- ✓ A Resolução N° 430, de 13 de maio de 2011, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que dispõe sobre as condições, parâmetros, padrões e diretrizes para a ges tão do lançamento de efluentes em corpos de água receptores;
- ✓ A Instrução Normativa CPRH N° 003 de 2018, dispondo também sobre os padrões para o lançamento de efluentes;
- ✓ A Resolução ARPE N° 12, de 27 de novembro de 2009, que estabelece as condições técnico-operacionais e procedimentos de fiscalização da prestação de serviços públicos de abastecimento de água e esgotamento sanitário;

A qualidade na gestão e operação do esgotamento sanitário está diretamente relacionada à implantação de sistemas de gerenciamento, sendo estes, facilitadores da padronização de procedimentos, além de possibilitar melhorias nas esferas organizacionais das empresas de saneamento (ROCHA, 2005). Um sistema de gestão de informação utilizado pelas Companhias de saneamento é o GSAN. Neste sistema é possível gerenciar operações comerciais, administrativas, financeiras e de controle da execução de serviços internos e externos, específico para a área de saneamento básico. O objetivo é dotar as prestadoras de serviços de abastecimento de água e coleta de esgotos de um software capaz de atender às complexas necessidades de informação, apoio na tomada de decisão (Gsan, 2010).

De acordo com Mello (2007), as ETE´s são compostas basicamente pelas seguintes etapas: pré-tratamento ou preliminar (gradeamento, peneiras e desarenação), tratamento primário, tratamento secundário (processos biológicos de oxidação), tratamento do lodo e tratamento terciário, em alguns casos. Para Nuvolari (2011), as EEEs são fundamentais para a coleta e elevação do esgoto em casos de pavimento abaixo do greide, bem como no transporte, levando esgoto até às unidades de tratamento (ETEs).

O papel primordial das unidades que compõem o tratamento preliminar está associado à eliminação de sólidos que poderiam comprometer o funcionamento adequado das unidades subsequentes de tratamento, especialmente dos reatores aeróbios e anaeróbios. Isso ocorre principalmente devido a obstruções nas tubulações, falhas em equipamentos eletromecânicos, acúmulo de areia nos reatores, mortalidade de bactérias

envolvidas no tratamento biológico e formação de escuma. (Ribeiro et al, 2018).

A estações elevatórias de esgoto possuem também mecanismos para remoção de sólidos grosseiros (gradeamento e caixa de areia) e poço de sucção. De maneira geral, o operador é responsável por remover detritos dos sistemas de tratamento e das próprias áreas das unidades; observar aspectos relacionados à conservação de taludes, sistemas de drenagem, grades, caixas de passagem, entre outros; realizar o manejo do lodo e relatar anomalias ou interrupções nos processos de tratamento e nos sistemas elétricos (Saneago, 2005).

Para que as ETEs possam manter a sua eficiência, é preciso, além de um projeto adequado às características do município, a adoção de critérios técnicos no momento da implantação, bem como manutenção dos equipamentos e rigoroso controle da operação, de modo a garantir o funcionamento do sistema dentro das condições licenciadas (SOUZA et al, 2015). A falta de limpeza e manutenção nas unidades operacionais geram problemas que costumam se estender também aos equipamentos e unidades envolvidos no processamento do esgoto e também dos subprodutos do tratamento, como lodo e escuma. Isso demanda paralisações frequentes, que podem variar desde simples limpezas e desobstruções até a ocorrência de danos em equipamentos de manutenção delicada e lenta, implicando em interrupções mais prolongadas, gerando impactos nos processos e eficiência do tratamento do esgoto (Ribeiro et al, 2018).

O resultado final do tratamento de esgoto é o efluente tratado, e para que este seja lançado em um corpo receptor, é necessário seguir padrões de ordem química, física e biológica de modo que o corpo receptor não seja degradado. Para isso, a Resolução N° 430, de 13 de maio de 2011, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) estabelece que:

> "Os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente nos corpos receptores após o devido tratamento e desde que obedeçam às condições, padrões e exigências dispostos nesta Resolução e em outras normas aplicáveis (Brasil, 2011, Art. 33)".

Desta forma, é necessário um acompanhamento dos parâmetros físico-químicos e biológicos, como: temperatura, pH, sólidos, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), óleos e graxas, nutrientes, metais, entre outros, para verificar a eficiência de tratamento e realizar mudanças na operação das ETE´s com o objetivo melhorar o desempenho das mesmas de acordo com a avaliação técnicas destes parâmetros.

Diante do contexto apresentado, o presente estudo tem o objetivo de avaliar a influência do planejamento e monitoramentos das rotinas operacionais e da limpeza e manutenção das unidades nos anos de 2022 e 2023, para a melhoria da eficiência de tratamento da ETE Tacaimbó, Pernambuco, como também para atendimento dos requisitos legais e preservação do corpo receptor do efluente tratado, que é o rio Ipojuca.

2. METODOLOGIA

O presente trabalho foi desenvolvido com base no monitoramento das limpezas diárias da ETE e EEE's de Tacabimbó, comparando com os resultados de análises físico-químicas e biológicas do esgoto.

O município de Tacaimbó está localizado na Mesorregião do Agreste Pernambucano, Microrregião do Vale do Ipojuca. No último censo IBGE realizado em 2022, a população era de 13.738 e densidade e demográfica de 60,36 habitantes por km^2. O rio Ipojuca corta o município de Tacaimbó e é o corpo receptor do efluente tratado na ETE.

O rio Ipojuca corta o município de Tacaimbó e é o corpo receptor do efluente tratado na ETE. A bacia do rio Ipojuca abrange uma área de 3.435,34 km^2, correspondendo a 3,49% da área do Estado. Estão inseridos nessa bacia um total de 25 municípios, dentre os quais: 14 possuem suas sedes inseridas na bacia (Arcoverde, Belo Jardim, Bezerros, Caruaru, Chã Grande, Escada, Gravatá, Ipojuca, Pombos, Poção, Primavera, Sanharó, São Caetano e Tacaimbó); e 10 estão apenas parcialmente inseridos (Agrestina, Alagoinha, Altinho, Amaraji, Cachoeirinha, Pesqueira, Riacho das Almas, Sairé, São Bento do Una, Venturosa e Vitória de Santo Antão).

Considerado um dos cinco rios mais poluídos do Brasil, o Ipojuca faz parte de um programa que visa a sustentabilidade hidroambiental da bacia hidrográfica. O governo do estado de Pernambuco vem investindo na implementação da Política Nacional e Estadual de Recursos Hídricos e para isto firmou um contrato de empréstimo com o Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID), com execução em seis anos, de agosto/2013 a julho/19, visando a recuperação das bacias hidrográficas. Diante disto, foi tomado como estudo de caso a Bacia Hidrográfica do rio Ipojuca, considerando uma região prioritária para o desenvolvimento socioeconômico do estado de Pernambuco.

A concepção do Programa de Saneamento Ambiental (PSA Ipojuca) foi dividida em três eixos temáticos: fortalecimento institucional, obras e equipamentos e socioambiental, e teve como foco principal o ODS 6, pois propõe aumentar a disponibilidade de água de boa qualidade, promover o saneamento ambiental, ampliando o abastecimento de água, a cobertura de esgotamento sanitário, principalmente nas 12 cidades-sedes que estão localizadas em suas margens mais as cidades de Arcoverde e Venturosa, promovendo a recuperação do rio e dos principais reservatórios de abastecimento de água da bacia. Dentre as ações do PSA Ipojuca estão a elaboração de projetos e execução de obras de sistemas de esgotamento sanitário com intuito de reduzir o descarte de poluentes no rio Ipojuca.

O sistema foi dimensionado para a vazão de final de plano considerando a população estimada do município em 2013, atendendo dados básicos, como: um alcance de 20 anos. Sendo assim, a população considerada para início de plano foi de 7.292 habitantes e a de final de plano será de 13.861 habitantes.

A ETE localizada no município de Tacaimbó é composta por peneiras, desarenador, reator UASB(reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo), lodos ativados, decanatdor lamelar, tanque de contato para cloração leitos de secagem (Figura 1) e duas EEE elevatórias com gradeamento para retenção de resíduos sólidos, caixa de areia, e poço de sucção para bombeamento do esgoto para a unidade de tratamento.

Figura 1: ETE Tacaimbó

Fonte: Google Earth (2023).

Os sistemas de esgotamento sanitário de Tacaimbó foi projetado em 2013. O SES Tacaimbó foi concebido em dois microssistemas de esgotamento, A e B, com execução de rede coletora, ramais condominiais, ligações intra domiciliares, duas estações elevatórias em cada um deles e uma estação de tratamento de esgoto. A estação elevatória 2 (dois) lança seus efluentes na elevatória 1 (um), que recalca os esgotos para a estação de tratamento de esgoto, a ETE Tacaimbó.

A Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA) foi responsável pela execução das obras, que foram finalizadas em 2018, quando iniciou a operação da ETE Tacaimbó. A operação do SES Tacaimbó é realizada por operadores que ficam responsáveis pela remoção de resíduos das unidades de tratamento, descargas de lodo e de areia, preparação e dosagem de produto químico ETE, realização de análises do efluente bruto e tratado no laboratório, localizado na própria ETE, como também limpezas nas grades, caixas de areia e poços de sucção das EEE´s.

A eficiência de tratamento da ETE Tacaimbó e monitorada diariamente através de análises físico-químicas realizadas no laboratório da própria unidade operacional, como também, realização de análises complementares no laboratório de controle de qualidade (GQL – COMPESA). O monitoramento é realizado para garantir o atendimento aos padrões estabelecido pelo CONAMA 430/2011 e Instrução Normativa n° 03 de 2018 da Agência Pernambucana de Meio Ambiente (CPRH). Os parâmetros que serão considerados neste estudo, estão descritos nas Tabela 1 e 2.

Tabela 1. Limites da Resolução CONAMA 430/2011

CONAMA n° 430/2011	
Limites da Resolução	
TEMP	**Não pode ser superior a 40°C**
PH	**entre 5 e 9**
DBO	**120 mg/l ou 60% de eficiência**
SOL.SED.	**Não pode ser superior a 1 ml/L**
OLEO/GRA	**Até 100 mg/L**

Fonte: BRASIL, 2011.

Tabela 2: Limites da Instrução Normativa n° 03 de 2018 – CPRH

Instrução Normativa n° 03/2018 CPRH	
Limites da Instrução Normativa	
TEMP	**- Não pode ser superior a 40°C**
PH	**- Deve estar entre 5 e 9**
DBO	**- 60 mg/l ou 90% de eficiência**
SOL.SED.	**- Não pode ser superior a 1 ml/L**
OLEO/GRA	**Óleos minerais: até 20 mg/L**
	Óleos vegetais e gorduras animais: até 50 mg/L
COLIFORMES TERMOTOLERANTES	**1.000 coliformes termotolerantes/100 mL**

Fonte: CPRH, 2018.

Para planejamento e monitoramento das atividades de limpeza e manutenção das EEE´s e ETE Tacaimbó foi realizada a introdução das informações no Sistema Integrado de Gestão de Serviços de Saneamento (GSAN) por meio da criação de Registros de Atendimento(RA) e Ordens de Serviço (OS), com o intuito de estabelecer programações com periodicidade adequadas aos serviços das ETE's e EEE's, bem como a criação e manutenção do banco de dados para propor melhorias e ações corretivas de acordo com o desempenho das unidades. O RA corresponde ao documento de solicitação do serviço e nele estão contidas informações sobre o tipo de serviço solicitado e local, neste caso, ETE ou EEE na qual o serviço deve ser executado. As atividades consideradas para este estudo foram: limpeza de gradeamento, caixa de areia e poço de sucção das EEE´s e limpeza de peneiras, leito de secagem e desarenador da ETE.

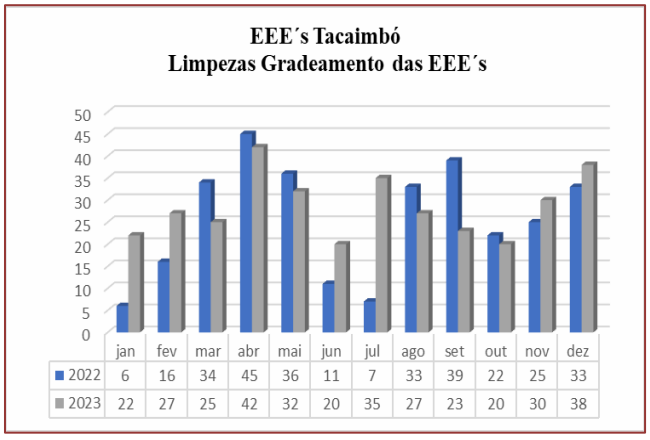
Para avaliar a influência das atividades de limpeza e manutenção na eficiência de tratamento de esgoto de acordo com os resultados de análises físico-químicas e microbiológicas do esgoto, foram consideras a diferença entre o quantitativo de limpezas executados entre os anos de 2022 e 2023, comparando e correlacionando com os resultados de análises dos parâmetros supracitados. O monitoramento das atividades introduzidas no GSAN e os resultados provenientes da análise em laboratório serão apresentados na forma gráficos e discutidos de acordo com os parâmetros legais.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com a criação de OS´s e RA´s do GSAN das atividades operacionais, de limpeza e manutenção das EEEs e ETE´S é possível fazer o planejamento e levantamento do número de atividades realizadas mensalmente durante os anos de 2022 e 2023 e assim concluir que houve uma diferença significativa no aumento de uma ano para o outro, em decorrência a ajustes na operação e do melhor acompanhamento das atividades junto aos operadores.

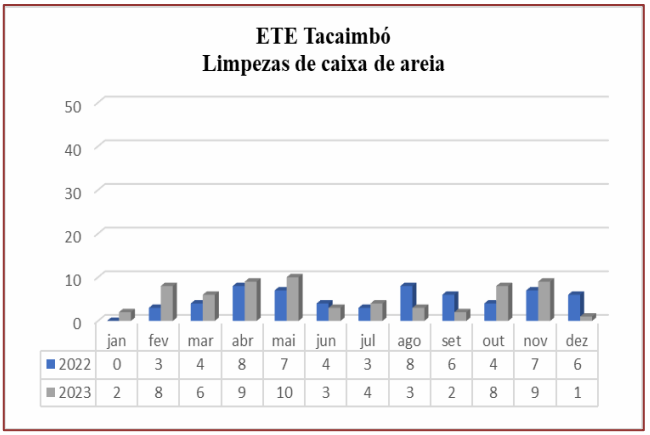
Analisando os dados, observa-se que, em 2022, houve um quantitativo menor de atividades em diversas áreas, como descarga do lodo para o leito de secagem, limpeza de caixa de areia e gradeamento. Em 2023, essas atividades apresentaram um aumento significativo, devido aos motivos supracitados. O poço de sucção também recebeu uma atenção mais intensa em 2022, refletindo em um maior número de intervenções, o quantitativo anual de 2022 e 2023 estão descritos em gráficos nas figuras 2, 3,4 e 5.

Figura 2: Limpeza de gradeamento



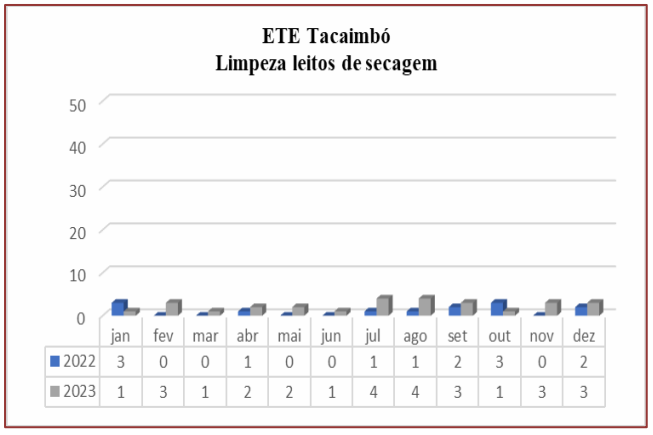
Fonte: Compesa.

Figura 3: Limpeza de caixa de areia



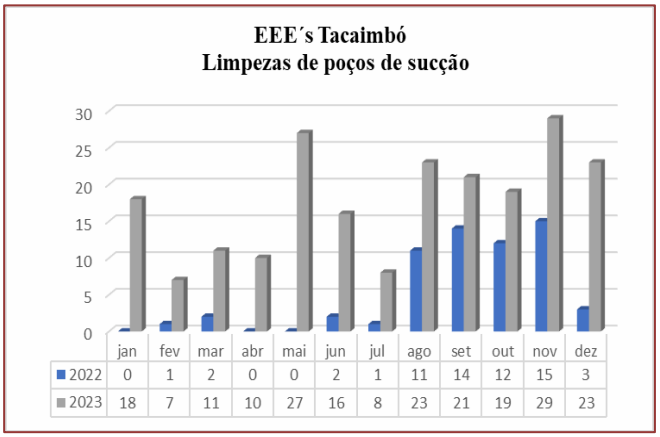
Fonte: Compesa.

Figura 4: Limpeza de leito de secagem



Fonte: Compesa, 2022 – 2023.

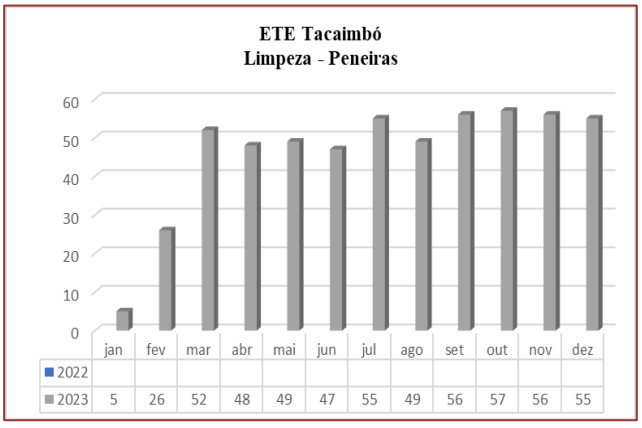
Figura 5. limpeza de poço de sucção



Fonte: Compesa, 2022 – 2023.

Destaca-se a atenção especial às peneiras estáticas, que não foram registradas limpezas em 2022, mas em 2023 passaram a ser limpas com maior frequência, gerando uma redução na passagem de resíduos para etapas subsequentes. O gráfico na Figura 6 apresentam o quantitativo de limpeza na peneira, os meses referente os meses com maiores quantidades de limpezas teve influência das condições climáticas, devido ao aumento de resíduos na chegada. Essa mudança na frequência de limpeza pode influenciar diretamente na eficiência do processo de tratamento,

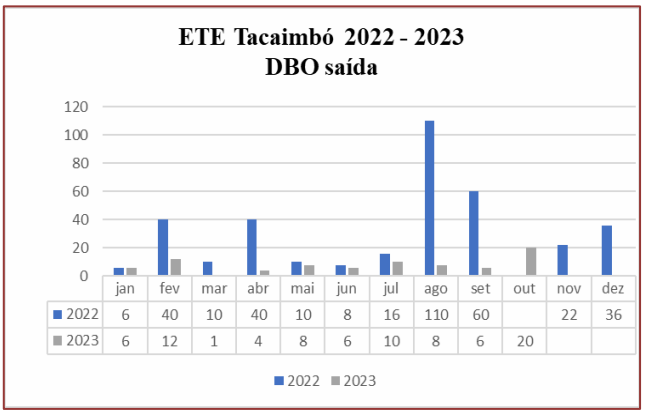
Figura 6: Limpeza de peneiras estáticas



Fonte: Compesa, 2022 – 2023.

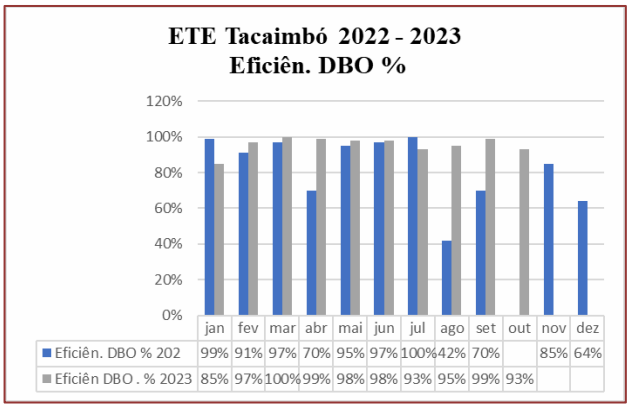
Os resultados das análises do ano de 2022 podem ser interpretados como um indicativo de que a ETE Tacaimbó estava operando dentro de padrões considerando a Resolução CONAMA 430 de 2011. Os valores de DBO e da eficiência de remoção dos anos 2022 e 2023 estão apresentados nas Figuras 7 e 8. Os resultados de análises de saída do DBO apresentaram média de 32,55 mg/L e sua porcentagem média de eficiência atingiu 83%, já para os resultados de análises de DBO de 2023, apresentou média de 8,10 mg/L e eficiência de 96%, ambos os resultados atendem a resolução CONAMA/430, onde a eficiência deve ser superior a 60%, contudo, considerando a IN 003/208 CPRH, nos meses de agosto e setembro não há o atendimento a exigência de 60 mg/L de DBO. Mas para o resultado de DBO nota -se que houve um aumento na eficiência média de 13% em 2023.

Figura 7. Resultados de DBO



Fonte: Compesa.

Figura 8. Eficiência de remoção de DBO



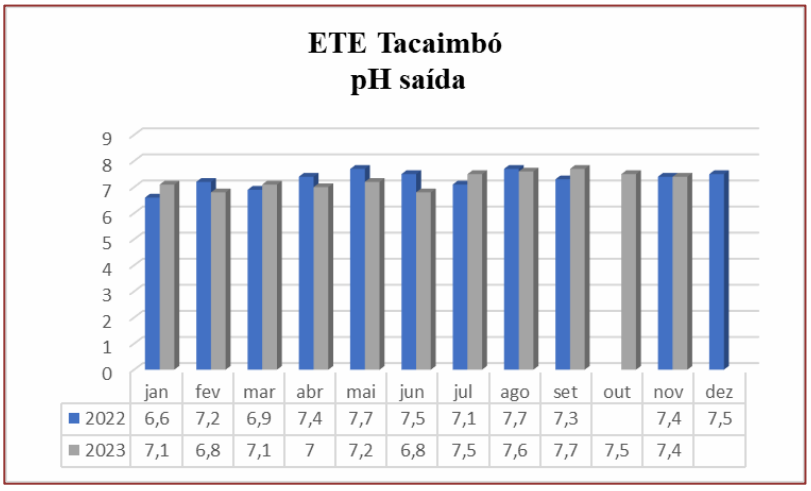
Fonte: Compesa.

*Obs. No mês de novembro a análise de DBO e sua eficiência ficou sem dados devido problemas técnicos.
*Obs. No mês de outubro de 2022 não houve coleta devido problemas técnicos

A remoção de resíduos grosseiros na caixa de areia, no poço de sucção, nas peneiras e descarga do tanque do lodo para o leito de secagem reflete nos resultados vigente, destacando o aumento da eficiência do tratamento.

Para o resultado de pH não houve mudanças expressivas entre os anos 2022 e 2023, podendo ser observado na Figura 9, a média anual foi de 7,2 e 7,3 respectivamente. Atendendo assim a legislação CONAMA/430e a IN 003/ CPRH, que estabelece limite entre 5 a 9.

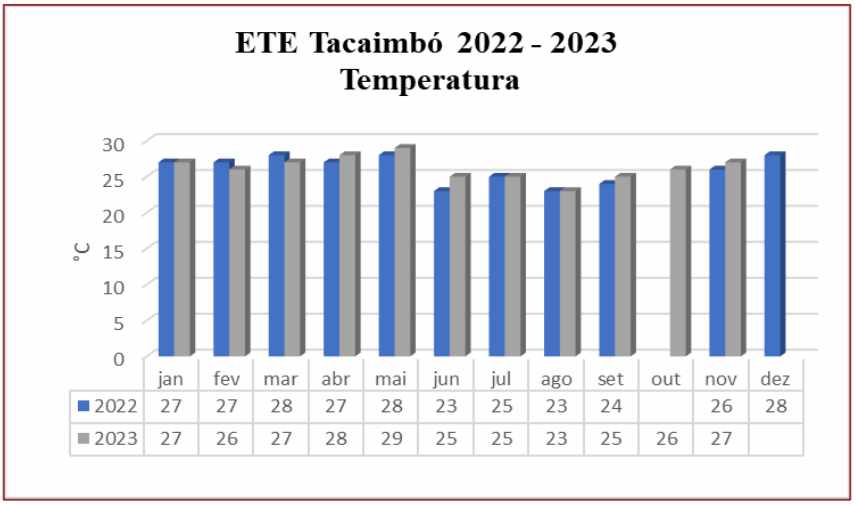
Figura 9: Resultados de pH



Fonte: Compesa.

A temperatura em ambos os anos teve média de 26 ° C, observa-se na figura 10 os resultados das medições, a resolução CONAMA/430 estabelece um limite até 40 ° C. Esse parâmetro é um fator crítico em processos biológicos, químicos e físico.

Figura 10: Resultados de temperatura

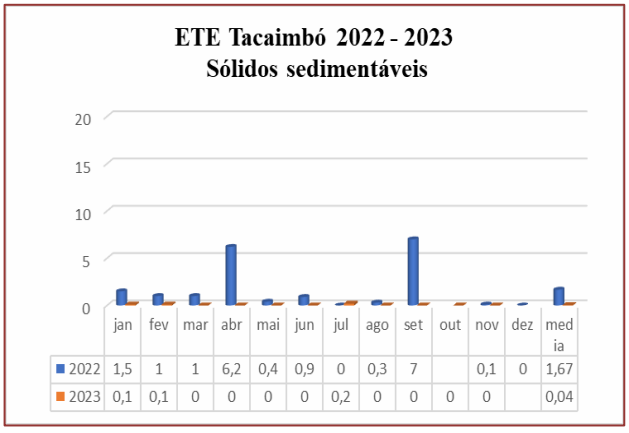


Fonte: Compesa, 2022 – 2023.

Os dados referentes aos sólidos sedimentáveis, em 2022, o valor médio registrado para sólidos sedimentáveis foi de 1,67 unidades (mL/L), ficando acima do que é permitido na legislação e na instrução normativa, que não pode ultrapassar de 1 ml/L. Em 2023, o valor médio foi de 0,04 (mL/L) apresentando dentro do estabelecido, os resultados estão apresentados na Figura 11. A manutenção regular também impacta diretamente os níveis de sólidos sedimentáveis, garantindo uma remoção eficaz dessas partículas.

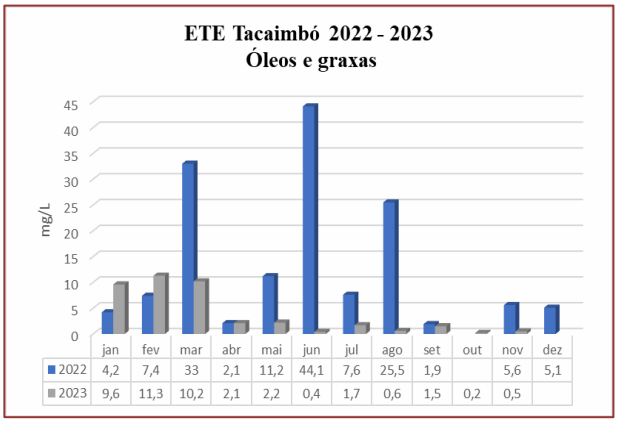
Os resultados de óleos e graxas estão na Figura 12. Percebe-se que os meses de junho e agosto de 2022 tiveram resultados mais elevados, mas atendendo a resolução, que aponta que o resultado não ultrapasse de 100 mg/L e a IN 003/2018 que limita em 50 mg/L, mas ao comparar os valores a média da concentração de óleos e graxas no efluente tratado em 2022, que foi de 13,42 mg/L e a média de 2023, que foi de 3,66 mg/L, nota-se redução importante e que também está relacionada as rotinas de limpeza e manutenção.

Figura 11. Resultados de sólidos sedimentares



Fonte: Compesa.

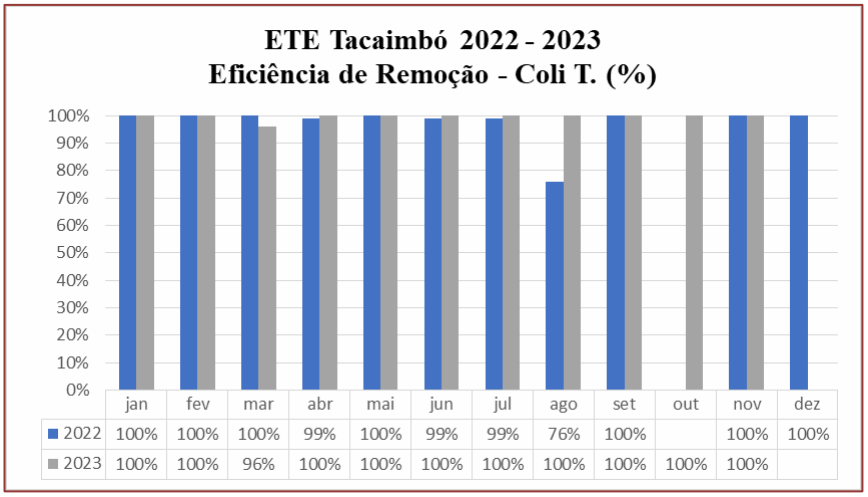
Figura 12: Resultados de óleos e graxas



Fonte: Compesa.

Para as análises bacteriológica e sua eficiência, nota -se que em 2022 o resultado médio de saída foi de 7,52 x 10^4 NMP, já para 2023, houve uma melhoria na eficiência e a média foi de 2,86 x 10^3 NMP. A relação entre a limpeza adequada e os resultados das análises bacteriológicas é direta, pois a presença de resíduos ou contaminantes nas amostras pode distorcer os resultados, dificultando a avaliação real da eficiência do tratamento, como também o consumo do agente de desinfecção para oxidar matéria orgânica, reduzindo o poder de ação do cloro para mortandade dos microrganismos. Os resultados estão apresentados na Figura 13.

Figura 13. Coliformes Termotolerantes – Eficiência de remoção



A prática regular de limpeza de componentes críticos, como grade, caixa de areia e peneiras, em uma estação de tratamento de efluentes, desempenha um papel fundamental nos resultados das análises de DBO, pH, sólidos sedimentáveis, óleos e graxas, entre outros parâmetros. Em conjunto, o planejamento e monitoramento dessas práticas de limpeza e manutenção promovem a confiabilidade dos resultados analíticos, a conformidade com padrões legais, o aumento eficiência operacional da estação de tratamento de efluentes e consequentemente a preservação dos corpos receptores do efluente tratado.

4. CONCLUSÃO

Em conclusão, a pesquisa ressalta a grande importância das práticas de limpeza nas estações de tratamento e estações elevatórias de esgoto, destacando seu papel na preservação ambiental, na promoção da saúde pública e na eficiência operacional dessas instalações. O estudo da ETE Tacaimbó fornece dados valiosos sobre como as atividades de limpeza e manutenção influenciaram diretamente os resultados das análises e trouxeram avanços importantes no atendimento as exigências da Resolução CONAMA 430 de 2011 e também da Instrução Normativa n° 003 de 2018 do CPRH.

A comparação entre 2022 e 2023 revela uma diferença significativa no número de atividades de limpeza, refletindo diretamente nos resultados do tratamento e resultados de ajustes operacionais e do melhor acompanhamento dos operadores na

execução das atividades. Ajustes na inserção dos dados e uso do GSAN, também apresenta-se como uma forma de melhorar o gerenciamento das informações e da operação, destacando a importância da do planejamento e manutenção regular para eficiência do tratamento, com impactos positivos nos parâmetros analisados.

REFERÊNCIA

[1] BRASIL. **Resolução N° 430, de 13 de maio de 2011**. Dispões sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução n° 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA.

[2] BRASIL. **Lei n. 11.445, de 05 de janeiro de 2007**. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. Brasília, 2007.

[3] CONAP. **GSAN**: Sistema integrado de gestão de serviços de saneamento. 2010. Conap consultoria aplicada. Disponível em: . Acesso em: 29 de dezembro de 2023.

[4] JUNIOR, Áttila Moraes Jardim; ROCHA, Ana Lúcia Colares Lopes. Manual de operação de estaçao de tratamento de esgoto. **Saneago**. 2005.

[5] **Lei nº. 11.445, de 05 de janeiro de 2007.** Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Disponível em:<https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm Acesso em: 26 de dezembro de 2023.

[6] MELLO, Edson José Rezende de. **Tratamento de Esgoto Sanitário**: Avaliação da estação de tratamento de esgoto do bairro Novo Horizonte na cidade de Araguari- MG. Uberlândia: UNIMINAS. Curso de Pós- Graduação Lato Sensu em Engenharia Sanitária: 2007.

[7] MORAIS, Juliana Cardoso de**. Avaliação da eficiência e dos problemas operacionais de uma estação de tratamento de esgotos ao longo de 13 anos de monitoramento**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco, 2011.

[8] PERNAMBUCO. Agência Estadual do Meio Ambiente – CPRH. Instrução normativa CPRH n° 03, de 14 de novembro de 2018. **Diário Oficial do Estado de Pernambuco**, Recife, PE, 14 nov. 2018.

[9] ROCHA, Claudia et al. **Proposta para o gerenciamento da estação de tratamento de esgotos Jarivatuba- ETE Jarivatuba**, Joinville, SC. 2005.

[10] RIBEIRO, T. B. et al. Contribuição para o aprimoramento de projeto, construção e operação de reatores UASB aplicados ao tratamento de esgoto sanitário - Parte 2: Tratamento preliminar, bombeamento e distribuição de vazão. **Revista DAE**, v. 66, n. 214, p. 17–29, 2018.

[11] SOUZA, A. J. De; ROSA, I. C. C.; AMARAL, C. **Orientações básicas para operação de estação de tratamento de esgoto.** Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM), 2015.

Capítulo 9

Perspectivas sobre pagamento por serviços ambientais hídricos: o caso do programa "Preservando o Futuro" em Piracicaba

Barbara Rentes Barbosa
Daniel Fadel Júnior
Zenilda Ledo dos Santos
Juliana Angelo
Kaline de Mello
Roberta Averna Valente

Resumo: Neste capítulo exploramos os avanços das políticas de pagamento por serviços ambientais (PSA) a nível nacional e estadual e o papel dessas políticas públicas na gestão ambiental e territorial dos recursos hídricos e na busca da conservação e restauração dos serviços ambientais. Utilizamos um estudo de caso do programa “Preservando o Futuro” de Piracicaba, São Paulo, que é focado na proteção dos recursos hídricos, com o objetivo de entender o processo de implantação desde a demanda que originou o programa, funcionamento, resultados em termos de restauração e os avanços legais do município. A partir disso destacamos o desafio de buscar a percepção das comunidades como forma de trazer melhorias no que tange à adesão e governança territorial para o programa e para o município, e para fomentar a implementação de novos programas com resultados eficientes.

Palavras-chave: serviços ambientais, políticas públicas, gestão ambiental e percepção das comunidades.

1. INTRODUÇÃO

A água é um recurso fundamental para manutenção da vida e, de forma economicamente estratégica, pode ser tida como capital natural quando atrelada aos serviços ambientais, que são traduzidos em benefícios humanos diretos obtidos por intervenções humanas no ecossistema.

O Millennium Ecosystem Assessment (Mea, 2005) alertou sobre uma redução significativa desses serviços, resultado das mudanças que foram feitas nos ecossistemas pelos seres humanos de forma rápida e agressiva, a fim de atender as demandas de água potável, alimentos e combustível advindas do aumento populacional, induzindo a perdas substanciais da biodiversidade. A degradação ambiental como consequência das ações e demandas humanas, indicam a necessidade de uma mudança transformadora que reorganize os sistemas econômico, social e político (Ipbes, 2019).

O sobreuso dos recursos naturais e a suboferta de serviços ambientais são reflexo da desregulação da oferta e demanda dos serviços. Uma vez que há o aumento populacional somado à degradação de recursos hídricos, a disponibilidade de água para a sociedade é comprometida (Seehusen; Prem, 2011). Dessa forma, torna-se necessário a intervenção humana em forma de provisão de serviços ambientais com práticas de manutenção, conservação e recuperação de serviços ecossistêmicos.

O instrumento econômico discutido atualmente atrelado à provisão de serviços ambientais como forma de intervenção econômica, socioambiental e política, é o Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) como uma política de incentivo. Esse instrumento é complementar aos instrumentos de comando e controle como os definidos pela Lei de Proteção da Vegetação Nativa (Lei n. 12.651/2012, antigo Código Florestal), e nos últimos anos têm sido discutido e regulamentado no Brasil e no estado de São Paulo.

Neste capítulo utilizamos a definição revisada e proposta por Wunder et al. (2015) no qual Programas de Serviços Ambientais (PSA), chamado também de pagamentos por serviços ecossistêmicos, são “transações voluntárias entre usuários e prestadores de serviços que estão condicionadas a regras acordadas de gestão de recursos naturais para a geração de serviços externos”. Nesse sentido o PSA é uma transferência voluntária entre um provedor de serviços ecossistêmicos geradores de benefícios ambientais para um usuário, sendo que essa transação pode ser diretamente monetária ou não monetária (assistência técnica, crédito, certificações/títulos verdes, isenção de impostos).

Os programas de PSA são considerados importantes para abordar os desafios de sustentabilidade e coordenar a conservação dos ecossistemas com o desenvolvimento socioeconômico (Wunder, 2005) e têm se mostrado uma alternativa importante e eficiente para proteção dos recursos hídricos e restauração de ecossistemas degradados a partir do planejamento de uso do solo das pequenas propriedades com adoção de práticas de conservação (Sone et al., 2019; Ruggiero et al., 2019). Essas políticas visam alinhar e coordenar os custos e benefícios entre diferentes partes interessadas (Engel, Pagiola e Wunder, 2008) e têm sido amplamente implementadas em todo o mundo como uma ferramenta promissora para reconciliar os conflitos entre o desenvolvimento socioeconômico e a conservação dos ecossistemas (Pagiola, Arcenas e Platais, 2005). De maneira abrangente, os PSAs abordam o sequestro e armazenamento de carbono, proteção de bacias hidrográficas, proteção da biodiversidade, e manutenção da beleza cênica (Wunder, 2005; Onishi et al., 2013; Brasil, 2021).

O sucesso e a efetividade da adesão aos programas de PSA são impulsionados pela disposição da comunidade local e proprietários, isso torna importante a inclusão desses atores dentro de um processo com dinâmica *bottom-up* de introdução e implementação dos PSAs a fim de tornar o programa atrativo e que considere fatores como o sistema agrícola das propriedades, características das famílias e tomadores de decisão, além do acesso e disponibilidade de informações (Adeyemi, 2022).

Neste capítulo, exploramos os avanços legais das políticas de PSA e seu impacto no planejamento territorial. Apresentamos o programa "Preservando o Futuro" em Piracicaba, SP como estudo de caso, focado na proteção dos recursos hídricos, destacando o processo de implementação e suas contribuições. Além disso, buscamos entender a percepção de beneficiários acerca de programas de PSA no geral, especificamente no que tange a importância dos recursos hídricos em suas propriedades.

2. AVANÇOS LEGAIS DAS POLÍTICAS PÚBLICAS DE PSA

A necessidade de proteção, conservação e restauração dos recursos naturais é reconhecida e assegurada por políticas tradicionais de comando e controle baseadas nos princípios poluidor-pagador. As políticas de incentivo baseadas no princípio do pagador-recebedor garantem o uso sustentável dos recursos, e os Programas de PSA representam uma abordagem promissora nesse aspecto.

Mudanças surgiram quanto à legislação ambiental brasileira através da Lei de Proteção da Vegetação Nativa (Lei nº 12.651/2012), que estabelece um marco legal importante para a proteção de vegetação nativa em terras privadas, alinhando a preservação ambiental com o desenvolvimento econômico. Fundado nesta legislação, a redação da Lei nº 12.727/2012 traz uma alteração no art. 41 que autoriza a instituição de programas de apoio e incentivo à conservação do meio ambiente colocando o pagamento de serviços ambientais como um estímulo aos agricultores familiares que promovem conservação e melhoria dos ecossistemas em suas propriedades.

A consolidação dos PSAs no Brasil ocorreu com a Lei nº 14.119/2021, que instituiu a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais. Esta legislação específica de PSA é um marco legal que reconhece as ações e boas práticas que promovem a conservação e restauração dos habitats que geram serviços ambientais. A lei criou um quadro normativo abrangente para a implementação desses programas, estabelecendo diretrizes claras para recompensar de forma monetária ou não monetária atividades de conservação e melhorias dos ecossistemas. Já no estado de São Paulo, a utilização dos PSAs foi referenciada em 2009 na Política Estadual de Mudanças Climáticas (Lei nº 13.798/2009), frente ao desafio de mudanças climáticas globais, como instrumento econômico a ser utilizado dentro do âmbito do programa Refloresta-SP (antigo Programa de Remanescentes Florestais atualizado pelo Decreto nº 66.550/2022). A partir do Decreto nº 66.549/2022, foi regulamentada a Política Estadual de Pagamento por Serviços Ambientais que complementa e detalha a aplicação das diretrizes nacionais no âmbito estadual, realçando a importância de estratégias regionais específicas para os PSA.

Neste contexto surge o Projeto PSA Refloresta-SP a partir da Resolução nº 87/2023, como uma das principais ações previstas dentro do Refloresta-SP, que busca a nível estadual “incentivar ações que contribuam para a manutenção, a recuperação ou a melhoria dos serviços ecossistêmicos, em especial a remoção de carbono, a redução de emissões de gases de efeito estufa, a produção de alimento e a conservação da biodiversidade, dos

recursos hídricos e do solo no Cerrado e na Mata Atlântica" (São Paulo, 2023). O projeto é derivado de uma experiência positiva e de sucesso obtida com o Projeto Conexão Mata Atlântica, o que assegura a continuidade de ações e avanços legais no que tange a conservação e restauração da biodiversidade, recursos hídricos e mitigação das mudanças climáticas.

Iniciativas públicas exemplificam a aplicação prática de Programas de PSA em um contexto local com a participação fundamental dos municípios, enfatizando a adequação ambiental das propriedades rurais e a manutenção da quantidade e qualidade dos mananciais. Ações pioneiras como o "Programa Conservador de Águas" da Agência Nacional de Águas (ANA) em Extrema - MG, criado em 2005 através de um projeto de Lei municipal nº 2.100/2005 e o Programa Produtores de Água no Espírito Santo sob a coordenação do Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA) contando com a parceria de cinco municípios, servem de modelo e abrem caminho para o desenvolvimento subsequente das políticas de PSA.

A trajetória legislativa do PSA no Brasil demonstra um crescente avanço em termos legais de valorização dos serviços ambientais na gestão dos recursos naturais. Na prática, os programas podem ser geridos por uma diversidade de agentes, incluindo entidades governamentais (federal, estadual e municipal); organizações e agências internacionais; organizações do terceiro setor (ONGs nacionais e internacionais) e entidades privadas, necessitando de guias legislativos em seus diferentes níveis de aplicação (Brasil, 2021). Este modelo de gestão multifacetado revela a importância de abordagens colaborativas e integradas, sublinhando como as políticas de PSA evoluem e moldam as práticas de gestão ambiental e territorial principalmente nos municípios que são os motores dos programas junto aos beneficiários.

3. GESTÃO AMBIENTAL E TERRITORIAL DOS SERVIÇOS

A água, um recurso essencial para a vida, garante a sobrevivência de todos os organismos na Terra que dependem de sua disponibilidade e consequentemente da manutenção do ciclo hidrológico. Esta característica fundamental da água como um bem socialmente inegociável, é reconhecida universalmente e consagrada em documentos como a Declaração Universal dos Direitos da Água (ONU, 1992).

A importância da água denota a necessidade de gestão deste recurso em diferentes níveis. Em escala local, autoridades municipais e regionais supervisionam a provisão de água potável, o tratamento de águas residuais e o controle de secas e inundações. No nível nacional, governos estabelecem políticas, regulamentações e alocam recursos hídricos entre diversos setores, como agricultura, indústria e abastecimento público, além de empregar instrumentos econômicos, como tarifas de água e incentivos monetários. Em uma dimensão global, organizações internacionais, como a Organização das Nações Unidas (ONU) e a Organização Mundial da Saúde (OMS), desempenham papel na promoção da gestão sustentável da água, estabelecendo diretrizes e metas globais, além de oferecer apoio técnico e financeiro a países em desenvolvimento (Cosgrove; Loucks, 2015).

Contudo, a gestão dos recursos hídricos tornou-se um imperativo global. Os serviços que garantem a disponibilidade hídrica, como a retenção de água, revelam-se sensíveis às mudanças climáticas (Wang et al., 2022) e desempenham um papel crucial nas atividades econômicas. O recurso hídrico assume uma posição vital na agricultura, indústria,

abastecimento público e é diretamente afetada pelas atividades humanas. O contexto local de cada região mantém uma ligação intrínseca com as demandas e ofertas globais, destacando a importância em estratégias de gestão que considerem de forma integrada aspectos socioeconômicos relacionados ao clima (Pekel, 2016). Além de fatores sociais e econômicos que demandam uma alocação estratégica e distribuição equitativa do recurso o planejamento territorial é uma ferramenta importante na manutenção da quantidade e qualidade da água integrando características hidrológicas, topográficas, de solo, fauna e flora (Stępniewska, 2016; Bastian et al, 2012).

A conservação e restauração em áreas sensíveis como os mananciais, matas ciliares e zonas de recarga de águas subterrâneas, desempenham um papel fundamental na manutenção dos serviços hídricos, principalmente no que se refere a qualidade de água e retenção no solo (Wang et al., 2022). Elas atuam como reguladores naturais, evitando que as águas das chuvas carregadas de sedimentos se infiltrem diretamente nos rios, amortecendo o fluxo de água em períodos de alta vazão e sustentando o fluxo em períodos de baixa vazão (Castello et al., 2013).

À medida que as populações crescem e as economias se expandem, muitas destas áreas tendem a se fragmentar aumentando a pressão sobre os serviços hídricos, um fator determinante na escassez de água. O *stress* hídrico proveniente da demanda de centros urbanos torna-se um fator condicionante na necessidade de acessar diferentes ferramentas na gestão dos recursos hídricos, priorizando as áreas com maior interesse de atuação (Jardim; Bursztyn, 2015).

Uma gestão adaptativa dos recursos hídricos e do uso da terra, com base no monitoramento e aprendizagem dos resultados, é essencial para lidar com os desafios ambientais contemporâneos (Kozma, 2022). O PSA, entre diferentes abordagens, pode ser uma ferramenta eficaz, mas não a única, para garantir o acesso dos serviços hídricos à gerações futuras e atingir metas governamentais em acordos estabelecidos e no enfrentamento das mudanças climáticas. Ações como estas buscam incentivar práticas, como a conservação e restauração da vegetação, para compensar o custo de oportunidade associado aos benefícios hídricos (Jardim; Bursztyn, 2015).

De forma geral, a gestão ambiental e territorial dos serviços hídricos torna-se um requisito diante os desafios globais. Ao reconhecer a importância da conservação e restauração de áreas prioritárias, programas de PSA representam uma resposta adaptativa às crescentes demandas por água. Essas iniciativas não apenas garantem a qualidade hídrica, mas também promovem a resiliência dos ecossistemas diante das mudanças climáticas.

4. ESTUDO DE CASO: PROGRAMA PRESERVANDO O FUTURO EM PIRACICABA-SP

O município de Piracicaba está localizado a aproximadamente 163 km a noroeste da capital do estado de São Paulo e possui uma população de aproximadamente 423.323 habitantes de acordo com último censo (2022), ocupando 1.378,069 km² de unidade territorial (IBGE, 2022). A expansão da produção agrícola na cidade ocorreu principalmente durante o século XIX, com o desenvolvimento da economia cafeeira. Ao longo dos anos, Piracicaba se tornou um importante centro para a produção e comércio de café, o que impulsionou seu crescimento e prosperidade econômica, e atualmente, é reconhecida como uma metrópole em sua região, destacando-se como um polo tecnológico voltado para o agronegócio (Graça,1997; Fausto, 2018).

Essa condição é impulsionada pela presença de instituições renomadas, como a Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo, instituição pioneira no estudo das ciências agrárias, contribuindo para o desenvolvimento da agricultura local e nacional, e pela presença de empresas de tecnología agrícola, incluindo a Raízen, Mérieux (Bioagri), Koppert, Caterpillar do Brasil e o Centro de Tecnologia Canavieira (CTC), entre outras (SNA, 2020).

No âmbito rural, o município de Piracicaba é composto por 2.465 propriedades rurais, segundo dados do Plano Municipal de Desenvolvimento Rural Sustentável 2019 – 2022 (Comder, 2019). Vale ressaltar que desse montante, 1.945 imóveis são pequenas propriedades que juntas detém apenas 21.005 hectares, enquanto os grandes possuem 51.406 hectares com um total de 141 propriedades. Esses dados evidenciam que a importância da agropecuária em Piracicaba não se limita apenas ao fornecimento doméstico, mas se estende à geração de receita por meio das exportações agrícolas, reafirmando sua posição como um centro agrícola proeminente a nível nacional.

Nesse contexto, a água desempenha um papel crucial na produtividade agrícola, sendo um recurso indispensável para o desenvolvimento sustentável e eficiente dos cultivos. De acordo com Pereira et al. (2002), a disponibilidade adequada de água no solo é vital para garantir a absorção eficiente de nutrientes, regulação térmica do solo e a transpiração, processos que influenciam diretamente na produtividade das plantações.

Dentre os serviços ambientais prestados, o ciclo hidrológico desempenha um papel crucial na manutenção da vida e na provisão de serviços ambientais essenciais para a humanidade. O ciclo hidrológico envolve a constante circulação da água na atmosfera, na superfície e abaixo do solo, por meio da evaporação, condensação, precipitação, infiltração, escoamento superficial e transpiração das plantas. Essa interação dinâmica entre a água e os ecossistemas naturais é fundamental para a regulação do clima, a manutenção da biodiversidade e a prestação de serviços como a purificação da água, a proteção contra inundações e a polinização de cultivos, uma vez que, as plantas dependem da água para crescer e produzir flores, que, por sua vez, atraem polinizadores, como abelhas e borboletas, que desempenham um papel fundamental na fertilização de cultivos e plantas silvestres. Portanto, a disponibilidade de água influencia diretamente a saúde dos ecossistemas e a oferta de serviços de polinização.

Estudos científicos têm documentado a interdependência entre o ciclo hidrológico e os serviços ambientais (Costanza et al., 1997; Carpenter et al., 2009), destacando como a preservação de ecossistemas saudáveis é essencial para garantir a continuidade desses serviços (Mitsch; Gosselink, 2015). A gestão sustentável da água e a conservação dos ecossistemas aquáticos desempenham um papel crítico na manutenção desse equilíbrio (Vörösmarty et al., 2010) e para a segurança alimentar e sustentabilidade dos sistemas agrícolas, ressaltando a importância de políticas e práticas conservacionistas que considerem a interação entre o ciclo hidrológico e os serviços ambientais para promover um futuro sustentável.

Por apresentar uma abundância de recursos hídricos com diversas nascentes no município, essa riqueza hídrica tem sido objeto de estudos e planos de gestão, buscando a sustentabilidade e o uso responsável desses recursos. Uma dessas ações culminou na elaboração do Plano Municipal de Recursos Hídricos (PMRH) em 2010. O plano abordou a identificação e a caracterização das bacias hidrográficas do município, e levantou os seguintes dados: i) Uso e Ocupação do Solo ii) Pedologia, fragilidade ambiental,

declividade, conservação iii) Identificação das microbacias mais críticas iv) Potencial hídrico das microbacias hidrográficas.

Ao final desses estudos, foram apontadas as bacias hidrográficas com potencialidade na produção de água para o abastecimento público do município, destacando as microbacias: Ribeirão do Tamandupá, Ribeirão do Congonhal, Ribeirão do Paredão Vermelho e Ribeirão dos Marins. Com os resultados do PMGRH, as instituições participantes do Plano Municipal decidiram dar continuidade na busca de soluções para as necessidades identificadas como o assoreamento de nascentes e a redução da vazão hídrica, e no ano de 2013, foram apresentados diversos estudos técnicos para a preservação e o aumento do potencial hídrico de bacias hidrográficas que detalharam alternativas para produção de água bruta, e ainda identificou e caracterizou as microbacias potencialmente produtoras de água inteiramente dentro do município.

Tendo em vista os resultados obtidos no PMGRH, a secretaria de agricultura e abastecimento juntamente com outros parceiros, começaram a desenvolver estratégias que pudessem fomentar a conservação das microbacias identificadas como produtoras de água no município, e nesse contexto, identificou-se a possibilidade de implementar um programa de pagamentos por serviços ambientais focado em recursos hídricos, tendo como modelo o já existente PSA de Extrema/MG.

Ao final do ano de 2014, o grupo de trabalho responsável pela criação do Programa PSA de Piracicaba (SEMAE, SEDEMA, SEMA, SEMOB, IPPLAP, Procuradoria Jurídica Administrativa e CATI), apresentaram os custos para a implementação de saneamento básico, conservação do solo e restauração ou implementação florestal para que se pudesse chegar nos valores que seriam pagos para o produtor rural por tipo de serviços ambientais prestados. Juntamente com esses dados, foram estabelecidos os critérios para a adesão ao programa de PSA. Com a finalização do estudo e o projeto de lei já encaminhado para a Câmara dos Vereadores de Piracicaba, no dia 08 de outubro de 2014 foi aprovada a Lei nº 8.013 que:

> *Autoriza o Município de Piracicaba a instituir o Programa Municipal de Pagamento por Serviços Ambientais aos Projetos de Proprietários Rurais, a estabelecer convênios com o Estado de São Paulo para a execução deste Programa e dá outras providências.*

No dia 19 de setembro de 2017, foi estabelecido o Decreto nº 17.218/2017 que regulamenta a Lei nº 8.013/2014.

Para aderir ao programa o produtor precisa ter em posse os documentos do imóvel rural, documentos do proprietário responsável e o Projeto Ambiental Individual (PAI), que é um projeto simples com as informações de localização do imóvel rural e um mapa da propriedade, destacando a distribuição das áreas de produção, residenciais, de remanescentes florestais e nascentes (Piracicaba, 2014; 2017b).

Uma vez que o produtor rural tenha sua adesão ao programa aprovada, ele passa a receber um montante financeiro anual correspondente ao nível de cumprimento dos critérios estabelecidos pelo PSA. Esse montante é livre para ser utilizado pelo produtor para construção e manutenção de cercas, instalações para animais, sistemas de irrigação e outros recursos necessários para que a propriedade continue prestando os serviços ambientais para a sociedade (Piracicaba, 2014; 2017b).

Juntamente com as políticas, é necessário o monitoramento das ações que são propostas na adesão ao programa de PSA. Nesse aspecto, no município apontado pelo estudo, o programa de PSA conta com uma Unidade Gestora de Projeto (UGP/PSA) que é composta por técnicos da SEMA, Simap (Secretaria Municipal de Infraestrutura e Meio Ambiente), SEMAE (Serviço Municipal de Água e Esgoto), Agência das Bacias PCJ e Cati (Coordenadoria de Assistência Técnica Integral), que realizam visitas periódicas ao longo de 1 ano, visto que esse é o período de duração do contrato, podendo esse ser renovado anualmente. Nessas visitas são monitoradas a implementação do cercamento, quando necessário, a plantação e crescimento das mudas, recuperação do solo, mudanças no manejo, entre outras ações propostas no projeto de adesão.

Em julho de 2022, segundo informes da equipe técnica da UGP/PSA foram plantados aproximadamente 35 mil mudas de espécies nativas em 21 hectares de áreas de APP pela empresa Progaia, ganhadora da licitação para executar o trabalho. A Figura 1 ilustra a evolução estrutural de uma área abrangida pelo PSA antes e depois da restauração ecológica.

Figura 1. a) Área do reservatório no início da adesão. **b)** Área do reservatório atualmente

a

b

Fonte: SEMA.

É importante ressaltar que as práticas conservacionistas são também responsabilidade do proprietário, uma vez que após o acompanhamento da empresa de restauração nos anos iniciais, o produtor fica responsável por manter a área, impedindo o acesso do gado nos corpos hídricos e a supressão da mata, por exemplo.

Nesse aspecto, destacamos o papel do proprietário como responsável pela continuidade da prestação de serviços ecossistêmicos, de modo que suas decisões vão afetar diretamente todo o projeto. Diante disso, fica evidente que a participação dos produtores no processo de discussão e implementação de novos programas de PSA, são fundamentais, uma vez que considerando as limitações e dificuldades do dia a dia, irá fortalecer cada vez mais os programas e ampliar a adesão de proprietários vizinhos.

5. GARGALOS E DESAFIOS DO PSA: UM OLHAR DOS BENEFICIÁRIOS

O êxito das políticas de Pagamento por Serviços Ambientais está diretamente ligado à participação ativa das comunidades locais. São elas que desempenham papel crucial na execução e continuidade desses programas, portanto, é imperativo adequar propostas que considerem as singulares características socioeconômicas, comunitárias, e das áreas que demandam conservação e restauração (Gilby, 2018).

Apesar da literatura sobre o assunto ser crescente (e.g. Zanella, 2014; Almeida-Leñero, 2017; Da Motta, 2018; White, 2022), ela ainda precisa ser melhor explorada, uma vez que possibilita uma compreensão mais aprofundada da complexidade e heterogeneidade dos beneficiários, assim como de suas perspectivas acerca dos PSAs, abordagens que nos auxilia a desvendar a relação entre o projeto, as tomadas de decisão e a mudança de uso da terra (Allen, 2019). Com essa compreensão, as iniciativas de PSA podem ser mais aptas a enfrentar os desafios encontrados nos programas, contribuindo para a melhoria dos resultados locais e apoio das comunidades, o que, por sua vez, aprimora a eficácia da política em relação à manutenção, conservação e restauração dos ecossistemas (Allen, 2019; Brownson et. al. 2019). Além disso, compreender a percepção das comunidades, nos auxilia na avaliação, elaboração, aperfeiçoamento e efetividade dos instrumentos dos PSAs (Allen, 2019), evidenciando sua importância para restauração e fornecendo dados sobre a relevância da conservação do meio ambiente e biodiversidade, possibilitando uma melhor compreensão de seus benefícios (Onishi, 2013), bem como resultados sociais desejados. No que tange à proteção de bacias hidrográficas, por exemplo, o êxito dos PSAs está intrinsecamente ligado à participação ativa dos residentes da região da bacia, uma vez que as interconexões entre as atividades e os habitantes que utilizam a terra determinam como as decisões de gestão da água podem afetar aqueles que dependem dela (Zanella, 2014).

Nesse contexto, um recorte do estudo intitulado “Percepção de quilombolas e produtores familiares sobre Programas de Pagamento por Serviços Ambientais no Vale do Ribeira - SP (Processo FAPESP 2023/00653-6) conduzido pela graduanda em Ecologia pela UNESP, Juliana Angelo, trouxe uma visão acerca da compreensão da percepção de alguns beneficiários do PSA Juçara - um dos PSAs abordados em sua pesquisa - e a relação da importância que este programa possui com o recurso hídrico. Essa abordagem é valiosa pois reconhece as experiências das comunidades locais com o meio ambiente, incluindo o acesso sobre o uso dos recursos naturais. Além disso, evidencia a importância da percepção que os beneficiários possuem acerca dos recursos hídricos vindos de programas de PSA não hídricos, já que ilustra que esse recurso é percebido em programas de conservação que vão além daqueles específicos sobre água.

Com o intuito de fomentar o cultivo da palmeira Juçara (*Eutuerpe edulis*), espécie nativa da Mata Atlântica brasileira, vulnerável à extinção, a Fundação Florestal implementou o PSA Juçara como forma de auxiliar a restauração desta flora nativa. Assim, além de favorecer ações pró-ambientais, o PSA amplia a visibilidade e as oportunidades para os produtores engajados no cultivo da palmeira (Fundação Florestal, 2022).

As análises de percepção sobre o programa mencionado acima, revelaram que, mesmo sendo direcionado a ecossistemas terrestres, ele esteve estreitamente associado à restauração de áreas de Área de Preservação Permanente (APP), tema frequentemente mencionado pelos beneficiários, os quais destacaram que a revegetação nas proximidades de APPs desempenha um importante papel na melhoria dos serviços ecossistêmicos de fornecimento, purificação e regulação do fluxo da água. Para além dos serviços, o benefício

de “proteção da água” frequentemente citado, enfatiza a contribuição do PSA para conservação do recurso.

A contribuição do PSA Juçara para os recursos hídricos foi reconhecida como importante, especialmente no que diz respeito ao reflorestamento das margens dos corpos d'água e na compreensão de que a degradação de áreas de APP é proibida por lei, já que tais ações se refletem na disponibilidade e qualidade do recurso, o que interfere em sua dinâmica de uso. Discursos dos beneficiários do PSA Juçara ilustram:

> *“A gente sabe que não se deve desmatar nascente, seca tudo mesmo”.*
>
> *“Se for fazer derrubada, já não pode fazer em nascente de água, é proibido, temos que conservar a nascente de água”.*

Igualmente ao PSA Juçara, elaborar uma análise da percepção dos beneficiários do PSA de Piracicaba é de grande valia para avaliação da eficácia do programa em termos ambientais e sociais, e no fornecimento de dados valiosos que podem contribuir para o aprimoramento contínuo do referido programa. Considerando que este PSA é uma iniciativa nova em Piracicaba, a análise do feedback dos beneficiários é essencial para identificar pontos fortes e áreas passíveis de melhorias no desenho e implementação do programa, além de promover uma abordagem conjunta e adaptativa no cumprimento dos objetivos estabelecidos pelo PSA a fim de alcançar os resultados esperados.

Diante do exposto, é notável que os PSAs são socialmente e ambientalmente importantes, e que a compreensão das perspectivas dos beneficiários emerge como um componente fundamental para desvendar a complexidade dos resultados dessas iniciativas. Contudo, existem desafios inerentes a tais instrumentos políticos, notadamente em relação à continuidade dos programas, frequentemente delineados por prazos limitados, à adequação dos valores, que por vezes não abrangem integralmente os custos (e.g. tempo e mão de obra) associados à restauração, e à assistência, que pode ser deficitária. As motivações que levam essas comunidades a se envolverem nos programas também deve ser considerada e, nesse contexto, o estabelecimento de diálogos efetivos entre os beneficiários, as universidades e instituições interessadas, sociedade e os executores dos PSAs emergem como um meio eficaz de elucidar os desafios mencionados. A articulação de perspectivas diversas não apenas contribui para a resolução mais eficiente de obstáculos, mas também aumenta a aceitação das decisões relacionadas à gestão de recursos naturais e promove a formação de alianças na causa da conservação (Rigonato, et al. 2023). Essa colaboração pode resultar em conquistas substanciais à melhoria dos ecossistemas a longo prazo, que é o propósito fundamental subjacente a tais políticas.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do exposto nota-se que os programas de PSA representam uma boa oportunidade para envolvimento ativo em uma agenda de restauração e conservação que busca ganho de escala, e estão em ascensão impulsionados pelo avanço crescente das políticas nacionais e estaduais. Este instrumento de incentivo em conjunto com as políticas de comando e controle são grandes aliados na conservação e restauração dos ecossistemas, gestão dos recursos hídricos com efeito local, e no cumprimento de compromissos ambientais estaduais e nacionais.

A implementação dos PSAs dentro do planejamento territorial impacta diretamente a alocação estratégica de recursos naturais (oferta e demanda) e na visão macro a partir de intervenções locais, conforme abordado no estudo de caso, em que o PSA Preservando o Futuro surge como uma possibilidade de agir sobre a necessidade da conservação de microbacias produtoras de água no município identificada no Plano Municipal de Recursos Hídricos, com resultados importantes para a população local e para o ecossistema.

Entende-se que PSAs participativos que incluem a população local nas tomadas de decisão e nos processos subsequentes, considerando suas percepções, motivações, realidade local, e adaptando os programas à estas pautas, trazem benefícios não somente para a governança territorial em diferentes níveis de gestão, mas também permitem melhores desempenhos e ganhos ambientais nos ecossistemas a partir dos serviços ambientais conservados e restaurados. Nesse sentido, estudos desenvolvidos sob a perspectiva *bottom-up* são importantes para o desenvolvimento dos PSAs, incorporando a participação e perspectiva local. Esta abordagem fortalece a implementação de novos programas e participantes, e alcance das metas ambientais propostas pelos programas.

REFERÊNCIAS

[1] ADEYEMI, O., CHIRWA, P. W., BABALOLA, F. D. Assessing local people's perceptions and preference for ecosystem services to support management plan in Omo Biosphere Reserve, Nigeria. **Environmental Development**, 43, 100738. 2022.

[2] ALLEN, K. E.; COLSON, G. Understanding PES from the ground up: a combined choice experiment and interview approach to understanding PES in Costa Rica. **Sustainability Science**, v. 14, n. 2, p. 391-404, 2019.

[3] ALMEIDA-LEÑERO, L.; REVOLLO-FERNÁNDEZ, D.; CARO-BORRERO, A.; RUIZ-MALLÉN, I.; CORBERA, E.; MAZARI-HIRIART, M.; FIGUEROA, F. Not the same for everyone: Community views of Mexico's payment for environmental services programmes. **Environmental Conservation**, v. 44, n. 3, p. 201-211, 2017.

[4] BASTIAN, O.; HAASE, D.; GRUNEWALD, K. Ecosystem properties, potentials and services – The EPPS conceptual framework and an urban application example, **Ecological. Indicators**., 21, 7–16. 2012.

[5] BRANCALION, P.H.S., GARCIA, L.C., LOYOLA, R., RODRIGUES, R.R., PILLAR, V.D., LEWINSOHN,T.M. Análise crítica da Lei de Proteção da Vegetação Nativa (2012), que substituiu o antigo Código Florestal: atualizações e ações em curso. **Natureza e Conservação**., v. 14, p. e1–e16, 2016. http://dx.doi.org/10.1016/j.ncon.2016.03.004

[6] BRASIL. 2021. Lei nº 14.119 de 13 de janeiro de 2021. Institui a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais. Brasília.

[7] BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Institui o novo código florestal brasileiro. Altera a Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; e revoga as Leis nº s 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001, o item 22 do inciso II do art. 167 da Lei nº 6.015, de 31 de dezembro de 1973, e o § 2º do art. 4º da Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012.

[8] BRASIL. Lei nº 12.727 de 17 de outubro de 2012. Altera a Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nº s 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; e revoga as Leis nº s 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001, o item 22 do inciso II do art. 167 da Lei nº 6.015, de 31 de dezembro de 1973, e o § 2º do art. 4º da Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. 2012.

[9] BROWNSON, K.; GUINESSEY E.; CARRANZA M.; ESQUIVEL M.; HESSELBACH H.; RAMIREZ, L. M.; VILLA, L. Community-Based Payments for Ecosystem Services (CB-PES): Implications of community involvement for program outcomes**. Ecosystem Services**, v. 39, p. 100974, 2019. https://doi.org/10.1371%2Fjournal.pone.0216112.

[10] CARPENTER, S. R.; MOONEY, H. A.; AGARD, J.; CAPISTRANO, D.; DEFRIES, R. S.; DÍAZ, S.; DURAIAPPAH A.; OTENG-YEBOAH A.; PEREIRA H. M.; PERRINGS C.; REID W. V.; SARUKHAN J.; SCHOLES R. J.; WHYTE, A. Science for managing ecosystem services: Beyond the Millennium Ecosystem Assessment**. Proceedings of the National Academy of Sciences**, 106(5), 1305-1312. 2009. https://doi.org/10.1073/pnas.0808772106.

[11] CASTELLO, L., MCGRATH, D.G., HESS, L.L., COE, M.T., LEFEBVRE, P.A., PETRY, P., MACEDO, M.N., RENÓ, V.F. AND ARANTES, C.C. The vulnerability of Amazon freshwater ecosystems. **Conservation Letters**, v. 6, n. 4, p. 217–229, Jul. 2013. https://doi.org/10.1111/conl.12008.

[12] COSGROVE, W. J.; LOUCKS, D. P. Water management research challenges. Water Resources Research, 51(6), 4833-4847. 2015. https://doi.org/10.1002/2014WR016869.

[13] COSTANZA, R., D'ARGE, R., GROOT, R. DE, FARBER, S., GRASSO, M., HANNON, B., LIMBURG, K.; NAEEM, S.; NEILLTT, O'NEILL, R. V.; PARELO, J.; RASKIN, R. G.; SUTTON, P.; BELT, M. V. D. The value of the world's ecosystem services and natural capital. **Nature**, 387(6630), 253-260. 1997. https://doi.org/10.1038/387253a0.

[14] DA MOTTA, R. S.; ORTIZ, R. A. Costs and perceptions conditioning willingness to accept payments for ecosystem services in a Brazilian case. **Ecological Economics**, v. 147, p. 333-342, 2018. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.01.032.

[15] ENGEL, S.; PAGIOLA, S.; WUNDER, S. Designing payments for environmental services in theory and practice: An overview of the issues. **Ecological Economics**, 65(4), 663-674. 2008. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.03.011.

[16] FAUSTO, B. História Concisa do Brasil. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo (Edusp), 2018.

[17] FUNDAÇÃO FLORESTAL. PSA Juçara; 2022. Disponível em <https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/fundacaoflorestal/psa-jucara/>. Acesso em: 05 jun. 2022.

[18] GILBY, B. L.; OLDS A. D., CONNOLLY, R. M.; HENDERSON, C. J.; CHLACHER, THOMAS, A. S. Spatial restoration ecology: placing restoration in a landscape context**. BioScience**, v. 68, n. 12, p. 1007-1019, 2018. https://doi.org/10.1093/biosci/biy126.

[19] GRAÇA, M. S. C. Piracicaba: 250 anos de história. São Paulo: Ed. Horizonte, 1997.

[20] IBGE. Panorâma cidades. Piracicaba. 2022. Disponível em: https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/piracicaba. Acesso em: 20 set. 2023.

[21] IPBES. Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. S. Díaz, J. Settele, E. S. Brondízio E.S., H. T. Ngo, M. Guèze, J. Agard, A. Arneth, P. Balvanera, K. A. Brauman, S. H. M. Butchart, K. M. A. Chan, L. A. Garibaldi, K. Ichii, J. Liu, S. M. Subramanian, G. F. Midgley, P. Miloslavich, Z. Molnár, D. Obura, A. Pfaff, S. Polasky, A. Purvis, J. Razzaque, B. Reyers, R. Roy Chowdhury, Y. J. Shin, I. J. Visseren-Hamakers, K. J. Willis, and C. N. Zayas (eds.). IPBES secretariat, Bonn, Germany. 56 pages, 2019. https://doi.org/10.5281/zenodo.3553579

[22] JARDIM, M. H.; BURSZTYN, M. A. Pagamento por serviços ambientais na gestão de recursos hídricos: o caso de Extrema (MG). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 20, n. 3, p. 353–360, Sep. 2015. https://doi.org/10.1590/S1413-41522015020000106299.

[23] KOZMA, Z., JOLÁNKAI, Z., KARDOS, M. K., MUZELÁK, B., & KONCSOS, L. Adaptive water management-land use practice for improving ecosystem services–a Hungarian Modelling Case Study. **Periodica Polytechnica Civil Engineering**, 66(1), 256-268. 2022.

[24] MEA. Millennium ecosystem assessment. Ecosystems and Human WellBeing: Synthesis. Island Press, Washington, DC. 2005.

[25] MELLO, K. de; RANDHIR, T. O., VAELNTE, R. A.; VETTORAZZI, C. A. Riparian restoration for protecting water quality in tropical agricultural watersheds. **Ecological Engineering**, v.108, p. 514 – 524, 2017. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.06.049.

[26] MITSCH, W. J.; GOSSELINK, J. G. Wetlands. **John Wiley & Sons**. 2015.

[27] ONISHI, C. M.; VAZOLLER, R. F.; REYDON, B. P. Pagamento por serviços ambientais: benefícios locais e globais. **Revista DAE**, n. 192, 2013. http://dx.doi.org/10.4322/dae.2014.108.

[28] ONU. ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Declaração Universal dos Direitos da Água. New York, UNO, 1992.

[29] PAGIOLA, S.; ARCENAS, A.; PLATAIS, G. Can payments for environmental services help reduce poverty? An exploration of the issues and the evidence to date from Latin America. **World Development**, 33(2), 237-253. 2005. https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2004.07.011.

[30] PENKAITIS, G.; IMBERNON, R. A. L.; VASCONCELOS, C. M. S. de. Pagamento por Serviços Ambientais (PSA): o papel do conhecimento geocientífico no protagonismo social. **Terræ Didatica**, v. 16, p. e020025-e020025, 2020. https://doi.org/10.20396/td.v16i0.8659281.

[31] PEKEL, J. F., COTTAM, A., GORELICK, N., & BELWARD, A. S. High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes. **Nature**, 540(7633), 418-422. 2016.

[32] PEREIRA, A. R., ANGELOCCI, L. R., SENTELHAS, P. C. Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas. 2002.

[33] PIRACICABA. Decreto n° 17.218, de 19 de setembro de 2017. Regulamenta a Lei nº 8.013/2014 do Programa Municipal de Pagamentos por Serviços Ambientais. Decreto, Diário Oficial, 2017b.

[34] PIRACICABA. Lei nº 8.013, de 8 de outubro de 2014. Institui o Programa Municipal de Pagamentos por Serviços Ambientais. Prefeitura Municipal de Piracicaba, 2014.

[35] PIRACICABA. Prefeitura Municipal de Piracicaba. Cuidar do hoje para garantir o amanhã, Programa Municipal de Pagamento por Serviços Ambientais Preservando o Futuro. 2017a.

[36] RIGONATO, M.B., MELLO, K. DE, VALENTE, R.A.; FARIA, L.C. Payment for Water-Related Ecosystem Services as a Strategic Watershed Management Approach. **Journal of Environmental Protection**, 14, 660-684. 2023. https://doi.org/10.4236/jep.2023.148038.

[37] RUGGIERO, P.G.C., METZGER, J.P., TAMBOSI, L.R.; NICHOLS, E. Payment for Ecosystem Services Programs in the Brazilian Atlantic Forest: Effective but Not Enough. Land Use Policy, 82, 283-291. 2019. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.11.054

[38] SÃO PAULO. Decreto nº 66.549 de 07 de março de 2022. Institui a Política Estadual de Pagamento por Serviços Ambientais - PEPSA, o Programa Estadual de Pagamento por Serviços Ambientais - PPSA e o Cadastro Estadual de Projetos de Pagamento por Serviços Ambientais, e dá providências correlatas. São Paulo. 2022.

[39] SÃO PAULO. Decreto nº 66.550, de 07 de março de 2022. Reorganiza o "Programa Remanescentes Florestais", de que tratam o artigo 23 da Lei nº 13.798, de 9 de novembro de 2009, e os artigos 51 a 67 do Decreto nº 55.947, de 24 de junho de 2010, passando a denominar-se "Programa REFLORESTA-SP", e reorganiza o "Programa de Incentivos à Recuperação de Matas Ciliares e à Recomposição de Vegetação nas Bacias Formadoras de Mananciais de Água - Nascentes", de que trata o Decreto nº 62.914, de 8 de novembro de 2017, passando a denominar-se "Programa Nascentes", e dá providências correlatas. 2022.

[40] SÃO PAULO. Lei n° 13.798, de 09 de novembro de 2009. Institui a Política Estadual de Mudanças Climáticas - PEMC. 2009.

[41] SÃO PAULO. Resolução SEMIL nº 87 de 10 de outubro de 2023. Institui Projeto de Pagamento por Serviços Ambientais para incentivar a conservação de vegetação nativa e a restauração de paisagens e ecossistemas – PSA Refloresta-SP no âmbito do Programa Refloresta-SP. 2023.

[42] SEEHUSEN, S. E.; PREM, I. Por que Pagamentos por Serviços Ambientais? In: GUEDES, F. B.; SEEHUSEN, S. E. **Pagamentos por Serviços Ambientais na Mata Atlântica**. 2. ed. Brasília, DF. 2011. 280 p.15-45.

[43] SERI. Society for Ecological Restoration International Science & Policy Working Group. 2004. The SER International Primer on Ecological Restoration. & Tucson: Society for Ecological Restoration International.

[44] SNA. Surge o vale do Piracicaba: Primeiro Polo de Tecnologia agrícola do país. Disponível em: <https://www.sna.agr.br/surge-o-vale-do-piracicabaprimeiro-polo-de- tecnologia-agricola-do-pais/> Acesso em: 04 set. 2023.

[45] SONE, J.S., GESUALDO, G. C.; ZAMBONI, P. A. P.; VIEIRA, N. O. M.; MATTOS, T. S.; CARVALHO, G. A.; RODRIGUES, D. B.B.; ALVES SOBRINHO, T.; OLIVEIRA, P. T. S. Water Provisioning Improvement through Payment for Ecosystem Services. Science of the Total Environment, 655, 1197-1206. 2019. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.319

[46] STĘPNIEWSKA, M. Ecosystem Service Mapping and Assessment as a Support for Policy and Decision Making. CLEAN - Soil, Air, Water, 44(10), 1414–1422. 2016. https://doi.org/10.1002/clen.201500777

[47] VÖRÖSMARTY, C. J.; MCINTYRE, P. B.; GESSNER, M. O.; DUDGEON, D.; PRUSEVICH, A.; GREEN, P.; Glidden, S.; Bunn, S. E.; Sullivan, C. A.; Liermann, C. Reidy; DAVIES, P. M. Global threats to human water security and river biodiversity. **Nature**, 467(7315), 555-561. 2010. https://doi.org/10.1038/nature09440.

[48] WANG H.; ZHANG M.; WANG C.; WANG K.; WANG C.; LI Y.; BAI X.; ZHOU Y. Spatial and Temporal Changes of Landscape Patterns and Their Effects on Ecosystem Services in the Huaihe River Basin, China. Land. 2022; 11(4):513. https://doi.org/10.3390/land11040513.

[49] WHITE, A. C.; FAULKNER,J.W.; CONNER D.S.; MÉNDEZ, V.E.; NILES, M.T. "How can you put a price on the environment?" Farmer perspectives on stewardship and payment for ecosystem services. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 77, n. 3, p. 270-283, 2022. https://doi.org/10.2489/jswc.2022.00041.1.

[50] WUNDER, S. Payments for environmental services: Some nuts and bolts. CIFOR Occasional Paper No. 42. Center for International Forestry Research (CIFOR), Bogor, Indonesia. 2005.

[51] WUNDER, S. Revisiting the concept of payments for environmental services. **Ecological Economics**, 117, 234–243. 2015. https://doi.org/10.1016/J.ECOLECON.2014.08.016.

[52] ZABEL, A.; ROE, B. Optimal design of pro-conservation incentives. Ecological Economics, v. 69, n. 1, p. 126–134, Nov. 2009. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.08.001.

[53] ZANELLA, M. A.; SCHLEYER, C.; SPEELMAN, S. Why do farmers join Payments for Ecosystem Services (PES) schemes? An Assessment of PES water scheme participation in Brazil. **Ecological Economics**, v. 105, p. 166-176, 2014. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2014.06.004.

Capítulo 10

Impactos dos diferentes usos do solo na qualidade da água em microbacias

Mariana Beraldi Rigonato
Kaline de Mello
Ricardo Hideo Taniwaki
Roberta Averna Valente

Resumo: Este capítulo aborda os impactos dos diferentes tipos de uso e cobertura do solo na qualidade da água em microbacias hidrográficas. Os principais usos do solo no Brasil são pastagem, agricultura, urbanização, silvicultura e mineração, e para cada um deles, discutimos os principais impactos na qualidade da água, destacando estudos desenvolvidos no Brasil. Os impactos do uso do solo na qualidade da água podem ser avaliados com a utilização de diferentes variáveis. Destacamos as principais variáveis que são utilizadas nos estudos desenvolvidos no Brasil, e os principais resultados obtidos. Para melhor exemplificação, apresentamos três estudos de casos desenvolvidos em microbacias agrícolas e urbanas no Brasil.

1. INTRODUÇÃO

O gerenciamento dos recursos hídricos é o desafio mais crucial do século 21 (UNESCO, 2018). As mudanças climáticas e as alterações no padrão de uso e cobertura do solo causadas pelas atividades antrópicas são fatores que afetam os processos hidrológicos e consequentemente a oferta de serviços ecossistêmicos hídricos, como abastecimento e purificação da água (LI et al. 2014; Olusola et al. 2018; LI et al., 2022; Kuglerová et al., 2020; Twisa et al., 2020; Roticha et al, 2022). Dessa forma, há uma grande preocupação com relação aos impactos dos usos antrópicos na qualidade da água em áreas de cabeceira dos rios que é utilizada à jusante pelas populações humanas. Alguns estudos relatam diversos impactos como interferência no processo de sedimentação, transporte de carbono, perdas de nutrientes e mudanças na acidez e temperatura (Shah et al., 2022).

No entanto, a poluição difusa de águas superficiais decorrente das mudanças de uso do solo é de difícil controle, uma vez que é um resultado das interações entre os ciclos hidrológicos, características físicas da bacia e o padrão do uso e cobertura do solo (Uriarte et al., 2011; Xiao *et al*., 2016). Além disso, diferentes usos do solo, sua intensidade e tipo de manejo possuem diferentes impactos na qualidade da água em microbacias.

O aumento da cobertura florestal tem impactos positivos na qualidade da água em contrapartida, o desmatamento e as atividades agrícolas tendem a impactar negativamente os ecossistemas fluviais (Paula *et al*, 2018). A conversão de vegetação nativa em áreas agrícolas e urbanas é um dos principais causadores de degradação da qualidade da água, pois altera o escoamento superficial, a infiltração e a evapotranspiração na bacia hidrográfica, a vazão do rio, a dinâmica de fluxos, a carga de nutrientes e a quantidade de sedimentos em direção aos corpos d'água (Ogden *et al*., 2013; Palm *et al*., 2014; Hughes *et al*., 2019). A vegetação natural, por sua vez, são filtros naturais e exerce um papel importante sobre os ciclos hidrológicos e biogeoquímicos nas bacias hidrográficas, promovendo a purificação da água (Qiu *et al*., 2023), proteção contra processos erosivos, assoreamento dos corpos de água, retenção de poluentes, lixiviação excessiva de nutrientes e elevação da temperatura da água (Mingoti; Vettorazzi, 2011; Tanaka *et al*., 2016; Ice *et al*., 2021; Saad *et al*., 2021). As florestas ainda são armazenadoras de carbono podendo ajudar a mitigar problemas relacionados a escassez de água e ao aquecimento global (Ellison *et al*., 2017) gerando, assim, benefícios tanto para a qualidade de vida humana como para a sobrevivência de espécies aquáticas. Portanto, a substituição da cobertura natural por outros usos leva a diferentes impactos relacionados aos variados usos do solo aos quais essas áreas foram convertidas e no Brasil, há evidências de intensificação agrícola em todos os biomas naturais.

No Brasil, os principais usos antrópicos do solo são pastagem (19,32%), agricultura (7,18%), silvicultura (1,03%), áreas urbanas (0,44%), e mineração (0,05%) (MapBiomas, 2022). A cobertura por vegetação natural representa 64% do território, sendo 50% de formação florestal e 16,1% de formação savânica ou campestre (MapBiomaS, 2022). Porém, essas porcentagens variam dentro de cada bioma, sendo que a maior cobertura florestal concentra-se na Amazônia (78% do bioma), e o bioma Cerrado apresenta a menor cobertura de remanescentes (16%), seguido pela Mata Atlântica (26%). Assim, algumas regiões do país enfrentam maiores problemas relacionados à poluição dos corpos de água em função das alterações do uso do solo, como é o caso da Mata Atlântica (SOS Mata Atlântica, 2019) que historicamente é o bioma que mais sofreu modificações em sua vegetação nativa (Caballero *et al*., 2023).

Os impactos do uso do solo nos recursos hídricos podem ser avaliados por diversas variáveis de qualidade da água (físicas, químicas e biológicas). Uma das principais variáveis é a concentração de partículas de sedimento dissolvido na água, que ocorre naturalmente nas águas superficiais, porém, com as mudanças no uso do solo, as concentrações de sedimento dissolvido podem se elevar e ultrapassar os padrões normais e toleráveis do ambiente aquático, gerando impactos nos processos químicos e biológicos (Brooks, K.N.; Ffolliott, P.F.; Magner, 2012). Os sedimentos dissolvidos na água afetam a entrada de luz, que por sua vez altera a fotossíntese e produção primária, além de carregarem nutrientes (fósforo e nitrogênio) e poluentes (metais pesados, componentes químicos, pesticidas e fertilizantes). Assim, sedimentos dissolvidos na água (medidos por sólidos suspensos ou turbidez) é uma das principais variáveis analisadas em estudos de impactos do uso do solo sobre a qualidade da água.

Outras variáveis bastante utilizadas são a temperatura (controla muitos processos químicos e biológicos), oxigênio dissolvido (limitante para comunidades aquáticas e controla reações químicas), demanda bioquímica de oxigênio (mede a quantidade consumida de oxigênio por microrganismos para degradar a matéria orgânica), pH (importante para reações químicas na água e limitante para alguns organismos), nutrientes (fósforo e nitrogênio mais comuns – mostram alterações das atividades antrópicas e afetam produção primária, levando à eutrofização dos corpos de água e podem aumentar as emissões de gases de efeito estufa), coliformes fecais (mostram contaminação fecal dos corpos de água), fertilizantes e pesticidas (apresentam componentes tóxicos para comunidades aquáticas e saúde humana). Outras variáveis também podem ser analisadas, como condutilividade elétrica, cálcio, sódio, potássio, metais pesados, coliformes totais, clorofila-a, fitoplâncton, macrófitas, comunidades de algas, insetos, crustáceos e peixes.

Cada uso do solo apresenta diferentes efeitos sobre a qualidade da água, que serão discutidos neste capítulo. A magnitude desses efeitos depende da área ocupada por esse uso, a intensidade de manejo, a distribuição dentro da bacia, a interação com os aspectos hidrológicos e geológicos, e variações sazonais, aspectos que serão discutidos nos próximos capítulos. Abaixo descrevemos os potenciais impactos na qualidade da água em microbacias dos usos do solo mais importantes no Brasil, considerando as principais variáveis de qualidade da água utilizadas em estudos.

2. PASTAGEM

Pastagem é o principal uso do solo no Brasil, com uma área de 164,34Mha que se distribui ao longo dos biomas. Grande parte das áreas de pastagem (53%) encontra-se degradada, com problemas de compactação do solo e falta de nutrientes (De Oliveira Silva *et al*., 2017; MapBiomas, 2022). A necessidade de água e de espaço para as pastagens são fatores que afetam negativamente a qualidade e quantidade dos recursos hídricos (Matovelle, 2021). A compactação do solo impacta negativamente a infiltração de água no solo e as dinâmicas de escoamento superficial, aumentando a carga de sedimentos, nutrientes (Ogden et al., 2013) e também de coliformes fecais para os corpos hídricos (Meneses *et al*., 2015). O pisoteio pelo gado pode aumentar o total de sólidos dissolvidos e a condutividade devido à constante perturbação e ressuspensão do substrato das margens dos rios (Roche *et al*., 2013). Além disso, a conversão da vegetação nativa em pastagem normalmente leva a um aumento da temperatura da água e à diminuição do oxigênio dissolvido (Pinto *et al*., 2013; Mello *et al* ., 2018). Em áreas íngremes, a presença de pastagem intensiva aumenta a

erosão do solo, aumentando a produção de sedimentos e consequentemente carreamento de nutrientes para os corpos d'água (Sattler *et al*., 2018).

No entanto, os impactos das pastagens na qualidade da água dependem da intensidade dessa atividade, localização, tipo de manejo e tipo de gado. Técnicas inadequadas de gestão levam a diminuição de recursos naturais (Walker; SALT, 2006). A criação de gado dentro da capacidade de carga de uma bacia hidrográfica normalmente não altera o transporte de sedimentos para o leito do rio, com duas exceções: (1) quando a criação de gado é feita de forma intensiva em áreas declivosas, aumentando os processos erosivos ou (2) quando o gado pasta nas áreas ripárias da bacia, causando erosão das margens dos rios, depósito de sedimentos diretamente nos canais e contaminação por coliformes fecais (Brooks et al., 2012). Muitas pastagens no Brasil possuem vegetação campestre natural e/ou possuem baixa densidade de gado (menos de duas cabeças de gado por hectare), o que não gera impactos significativos na qualidade da água. A média do Brasil para 2017 foi de 1,15 cabeça/hectare, o que é considerada uma lotação muito baixa (IBGE, 2017). Nesses casos, a cobertura de vegetação de pasto geralmente não altera significativamente a qualidade da água (Brooks, K.N.; Ffolliott, P.F.; Magner, 2012; Mello *et al*., 2018a). Porém, muitas áreas de pastagens encontram-se em áreas íngremes e não há o cercamento das áreas ripárias, sendo os canais diretamente impactados pelo pisoteio dos animais. Pastagens em áreas íngremes são mais significativas para a poluição por fosfato/fósforo (Lei *et al.*, 2021) e a erosão das margens dos rios pode ser até 30 vezes maior nas áreas ripárias descobertas do que com cobertura vegetal (Beeson; Doyle, 2007). Além disso, a conversão de áreas naturais para pastagem afeta outros serviços ecossistêmicos como armazenamento de carbono e serviços dependentes da biodiversidade (Strassburg et al., 2014). Nesse sentido, as pastagens devem ser bem planejadas para garantir eficiência, melhorando a produtividade sem a necessidade de desmatamento e protegendo áreas sensíveis da bacia para evitar o impacto sobre os corpos d'água. Por exemplo, a combinação de um sistema de pastoreio rotacionado com a proteção da mata ciliar contribui para a não degradação dos rios (Ashworth *et al*., 2022).

3. AGRICULTURA

A agricultura é uma das principais atividades econômicas do Brasil, porém também é um dos principais usos do solo responsáveis pela degradação da qualidade da água (Martinelli *et al*., 2010). As atividades agrícolas são fontes primárias de nutrientes numa bacia hidrográfica devido ao uso de fertilizantes, muitas vezes em quantidades que excedem a capacidade de retenção pelas florestas (Shah *et al*., 2022). Também são responsáveis pelo aumento do transporte de sedimentos e nutrientes para os corpos de água, assim como de outros poluentes carregados pelas partículas de solo devido ao impacto das chuvas no solo exposto e altas taxas de erosão do solo, principalmente em regiões declivosas.

Os processos próprios da agricultura, como cultivo, drenagem, além do uso de pesticidas, resultam em alterações físicas, químicas e biológicas nas águas a jusante o que pode impactar os ecossistemas aquáticos (Stoate *et al*., 2009). Outro fator de interferência da agricultura é a utilização de máquinas e construção de estradas que causam danos consideráveis no solo devido a compactação e podem aumentar o escoamento superficial (Zemke *et al*., 2019). No Brasil, os estudos apontam o incremento principalmente de fósforo, nitrogênio total, nitrato, amônia e sedimentos (Cruz *et al*., 2019b; Mello *et al*., 2018b; Taniwaki *et al*., 2017). Os nutrientes estão ligados ao uso intensivo de fertilizantes nas culturas brasileiras. O fósforo total está diretamente relacionado com o escoamento

de sedimentos vindos das áreas cultivadas na bacia (Brooks, K.N.; Ffolliott, P.F.; Magner, 2012; Mello *et al*., 2018b). Para muitos países, a participação da agricultura na poluição total das águas superficiais por nitratos e fósforo é superior a 40% (OECD, 2008). Além disso, também são reportados problemas como detecção de componentes tóxicos de pesticidas nas águas superficiais, águas subterrâneas e água para consumo humano (Albuquerque *et al*., 2016). Apesar do grande uso de fertilizantes e pesticidas no Brasil, muitos contaminantes não são monitorados ou regulamentados pelo governo (Montagner *et al*., 2017). A eutrofização dos sistemas hídricos devido à agricultura pode se tornar significativa e generalizada, causando danos aos ecossistemas, a pesca comercial e aos benefícios recreativos e sociais associados a água (OECD, 2013).

O impacto das atividades agrícolas na qualidade da água, no entanto, depende dos seguintes fatores: (1) extensão da área de cultivo na bacia; (2) regimes de chuva e tipo de irrigação praticada; (3) o tipo de vegetação natural que foi convertida para agricultura; (4) tipo de cultura agrícola cultivada; (5) o período do ano em que a cultura é plantada, manejada e colhida (anual ou perene); (6) as práticas agrícolas; (7) erodibilidade do solo; (8) grau de proteção de zonas ripárias e áreas frágeis da bacia (Brooks *et al*., 2012). Assim, os estudos sobre o impacto da agricultura na qualidade da água precisa ser colocada em perspectiva e devem considerar o tipo de cultura, o manejo empregado, as variações sazonais tanto climática como de manejo, tipo de solo e padrão espacial da cobertura de vegetação na bacia. Por exemplo, em situações em que há falta de cobertura vegetal natural, culturas agrícolas podem ajudar a reduzir a erosão e áreas rurais em que não há sistema de infraestrutura de tratamento de água, as preocupações podem ser mais significativas (OECD, 2013). Melhores práticas agrícolas e o cumprimento da legislação ambiental que protege as zonas sensíveis da bacia são essenciais para a proteção dos recursos hídricos e a minimização de impactos nas bacias agrícolas (GuidottI *et al*., 2020).

4. SILVICULTURA

O manejo florestal em microbacias de florestas plantadas pode impactar as concentrações de nutrientes e sedimentos nos corpos d'água devido à construção e manutenção de estradas, preparo do solo, plantio, colheita, práticas fitossanitárias e fertilização do solo. A drenagem, em especial, influencia mudanças a longo prazo na cor da água e na quantidade de matéria orgânica carreada aos corpos hídricos. A perda de nutrientes pode ser significativa, mas essa perda parece ser mais afetada pelas condições locais, como condições meteorológicas, tipo de solo, técnicas de manejo e quantidade de resíduos florestais deixados no local (Shah *et al*., 2022). No Brasil, os estudos dos impactos da silvicultura na qualidade da água ainda são limitados, mas algumas investigações apontam que os impactos das florestas plantadas são menores quando comparados aos das culturas anuais (Rodrigues *et al*., 2019).

Após as operações de colheita há perda de carbono orgânico, perturbação do solo e aumento na temperatura da água. Os maiores aumentos na concentração de sedimentos exportados ocorrem no ano seguinte a colheita, embora alguns estudos relatam um período de 3 a 4 anos, ou mais (Shah *et al*., 2022). Em geral, a silvicultura contribui relativamente pouco em termos de cargas de nutrientes para o ambiente, especialmente quando comparadas às contribuições de outros usos do solo, como a agricultura, além de que os impactos são, em sua maioria, de curta duração (Shah *et al.,* 2022). Além disso, as atividades de manejo não são tão frequentes durante o ciclo florestal em comparação com as intensas atividades de uso do solo na agricultura tradicional, pois os ciclo das culturas

geralmente é de várias anos, além de que a aplicação de nutrientes também é normalmente menor (May *et al*., 2019). Dessa forma, o efeito negativo do processo de reflorestamento não é significativo a longo prazo (Duffy et al., 2020). O impacto reduzido das florestas plantadas na qualidade da água pode estar ligado às boas práticas de manejo incentivadas/requeridas pelas certificações florestais, como a proibição de conversão indiscriminada de floresta nativa em floresta plantada, uso de fogo e de vários tipos de pesticidas (Payn *et al*., 2015).

5. ÁREAS URBANAS

As áreas urbanas são um dos principais vetores de degradação da qualidade da água em todo o mundo, incluindo o Brasil. A conversão de áreas naturais na bacia hidrográfica em áreas urbanas aumenta a concentração de sedimentos vindos das construções, aumenta o escoamento superficial em eventos de chuva devido à alta taxa de impermeabilização do solo e remoção da vegetação ripária que protege rios e córregos urbanos (Brooks, K.N.; Ffolliott, P.F.; Magner, 2012). Além disso, no Brasil, um grande problema ainda é a falta de saneamento básico, uma vez que 48% da população não tem acesso à coleta de esgoto e cerca de 3,5 milhões de pessoas que vivem nas 100 maiores cidades do país despejam esgoto não tratado diretamente nos corpos de água (Trata Brasil, 2019).

Como consequência, os córregos e rios urbanos no Brasil são enriquecidos por sedimentos, resíduos orgânicos, coliformes fecais, fósforo e nitrogênio (Cunha; Sabogal-Paz; Dodds, 2016; De Oliveira *et al*., 2016; Marx *et al*. 2023) devido à falta de instalações de tratamento de esgoto, juntamente com a contaminação pelo escoamento de água da chuva e degradação das zonas ripárias. Mesmo quando representa uma baixa porcentagem da cobertura da bacia, as áreas urbanas podem causar um impacto substancial na qualidade da água (Tromboni; Dodds, 2017). A degradação ecológica observada em rios que drenam ambientes urbanos é conhecida como "síndrome dos rios urbanos". A síndrome é caracterizada por níveis elevados de nutrientes e contaminantes nos cursos d'água e pela alteração de assembleias bióticas (Walsh *et al*., 2005; Meyer *et al*., 2005)

A urbanização altera as condições hidrológicas dos sistemas de água superficial, causando mudanças nos padrões de fluxo através do aumento da cobertura impermeável, o que afeta a qualidade da água (Tucci, 2007). Também está correlacionada aos níveis de nitrogênio, sendo que as fontes de nitrogênio nas áreas urbanas incluem deposição atmosférica, efluentes de águas residuais, aplicação de fertilizantes em gramados e infraestrutura de esgoto com vazamentos (Gorgoglione *et al*., 2020). Halstead *et al*. (2014) identificaram que o desenvolvimento urbano foi o preditor mais poderoso de 11 parâmetros de qualidade de água, entre eles, condutividade, nitrogênio, fósforo, nitrato, potássio e magnésio e argumentam que a "síndrome dos rios urbanos" pode ser detectada mesmo em uma escala geográfica relativamente pequena em uma área pouca desenvolvida. As áreas urbanas são responsáveis por baixos níveis de oxigênio dissolvido, o que também é um fator limitante para a fauna aquática. Além disso, a alta contaminação dos ecossistemas aquáticos urbanos está eliminando espécies sensíveis de água doce e mudando a dinâmica da comunidade através da homogeneização das funções do ecossistema realizadas por espécies nativas e favorecendo a colonização por espécies não-nativas (De Carvalho *et al*., 2019; Peressin; Da Silva Gonçalves; Cetra, 2018).

Várias características da bacia hidrográfica podem influenciar a qualidade da água em ambientes urbanos, entre elas, elementos como topografia (Lintern *et al*., 2018), escala

(Blöschl; Sivapalan, 1995), padrões de precipitação, extensão do desenvolvimento residencial e comercial e a presença de estações de tratamento de resíduos (Pluth *et al*., 2021). Por exemplo, áreas urbanas com uma concentração significativa de atividades industriais podem afetar a qualidade da água em um raio de até 5km, enquanto áreas comerciais podem ter um impacto em um raio de 3km e empreendimentos comerciais em 2km (Liu *et al*., 2022). No entanto, investimentos em tratamento de águas residuais e infraestrutura de reservatórios têm o potencial de melhorar significativamente a qualidade da água (Reisinger *et al.,* 2019; Phuth *et al*., 2021). Portanto, é crucial implementar melhorias no sistema de esgotamento sanitário e no manejo do solo das bacias hidrográficas para promover uma melhoria duradoura na qualidade da água dos rios.

6. MINERAÇÃO

A mineração é umas das principais fontes de contaminação de águas superficiais por meio de sedimentos, metais pesados e nutrientes que ameaçam os ecossistemas aquáticos. As áreas de mineração geram areia e lama que transportam metais e outros elementos tóxicos, mesmo em áreas de mineração desativadas (Cruz *et al*., 2019a). A degradação da água através das atividades de mineração é um problema comum no Brasil, sendo encontrados óxidos minerais e elementos metálicos na água como Al_2O_3, Al, Ba, Mn, Zn, Zr e Pb (Da Silva et al., 2019; Moreira *et al*., 2016).

A preocupação com a contaminação dos rios nas áreas de mineração aumentou após o recente colapso de barragens no Brasil (Mariana e Brumadinho). O colapso das barragens mudou rapidamente as formas dos rios como resultado do rápido deslocamento de grandes volumes de material em pouco tempo e em vastas áreas (CioneK *et al*., 2019; Santos *et al*., 2019). Houve um aumento enorme na turbidez e sedimentos em suspensão nos dois casos (Rudorff *et al*., 2018). Os sedimentos carregavam metais pesados e outros elementos tóxicos no rio. No Rio Doce (Mariana), houve maior aporte de ferro, sílica, alumínio e metais traços como Cr, Cd e Pb (Gomes *et al*., 2017). A análise da água do rio Paraopeba (um afluente do rio São Francisco afetado pelo colapso da barragem de Brumadinho) mostrou valores de chumbo total e mercúrio aumentados 21 vezes acima do nível aceitável. Ni, Cd e Zn também foram encontrados nas águas contaminadas com risco para a saúde humana e animal (Cionek *et al.,* 2019). Também existem outros impactos, como diminuição dos níveis de oxigênio, aumento das cargas suspensas de sedimentos e perda de habitat aquático e ribeirinho.

No Brasil, uma grande preocupação relacionada a mineradoras é o fato de que a sua expansão ocorreu principalmente em terras indígenas e em unidades de conservação. O garimpo aumentou 495% dentro de terras indígenas apenas nos últimos 10 anos e 40% dessas áreas estão dentro de Unidades de Conservação. O bioma da Amazônia abrange 72% da área minerada, o bioma com maior área de mineração. O ouro é o minério que mais ocupa áreas de exploração com 86%, seguida pela mineração industrial de ferro e alumínio com 25% cada (MapBiomas, 2022). As más práticas de mineração revelam-se prejudiciais ao meio ambiente, causando impactos nos corpos hídricos como a sedimentação, desmatamento, contaminação química com mercúrio, cianeto, ácido nítrico e zinco (Gafur *et al*., 2018) e ainda aumenta os índices mutagênicos que indicam a possibilidade de mutações na população que consome essas águas (Martín *et al*., 2020). Mesmo com a desativação de mineradoras, as áreas exploradas ainda transportam metais e outros elementos tóxicos para os rios (Cruz *et al*., 2019b).

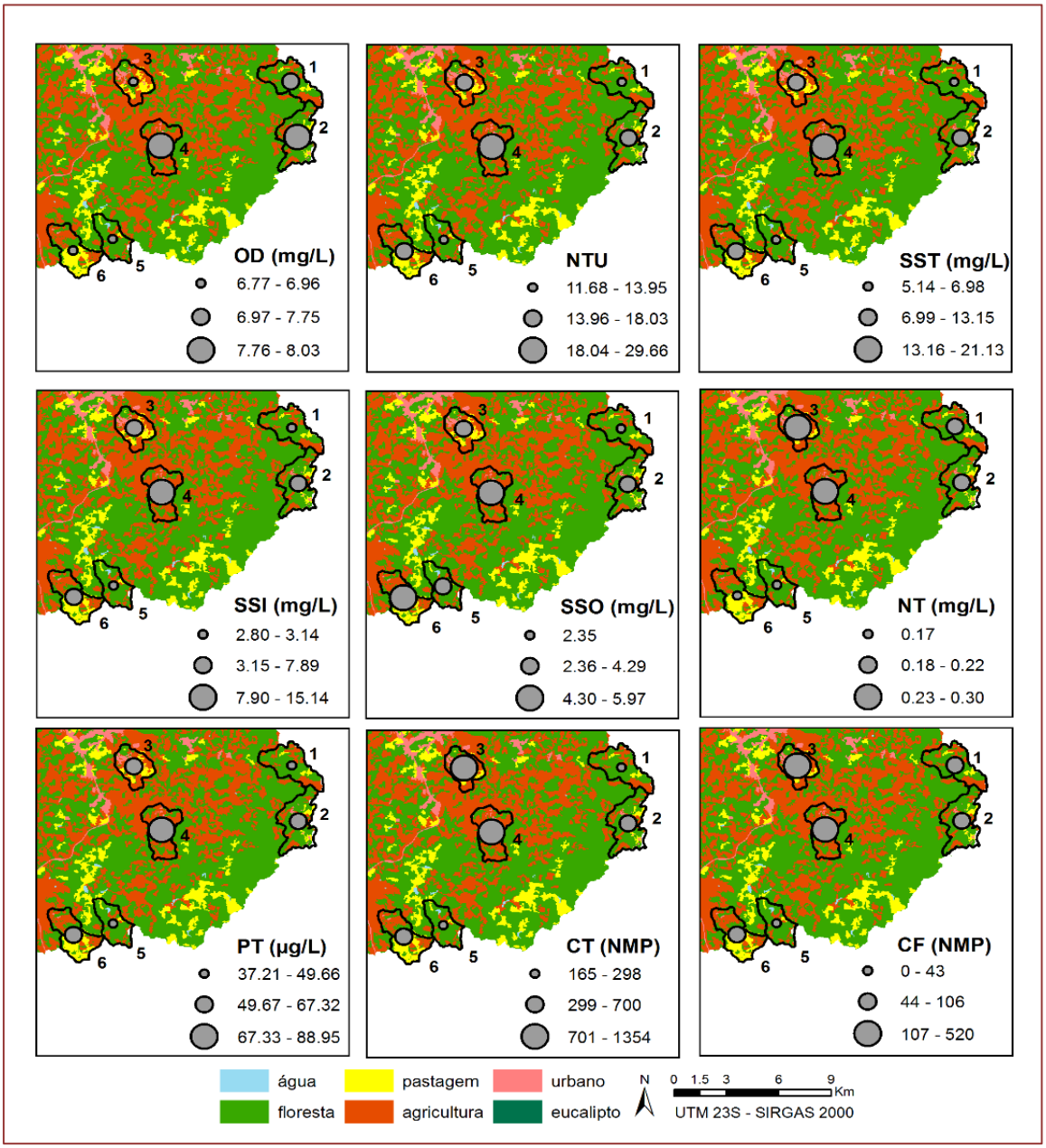
7. ESTUDOS DE CASO

7.1. ESTUDO DE CASO 1 – IMPACTOS DO USO E COBERTURA DO SOLO NA QUALIDADE DA ÁGUA EM MICROBACIAS AGRÍCOLAS NA BACIA DO RIO SARAPUÍ

Estudos foram realizados em seis microbacias (Figura 2) nas cabeceiras do rio Sarapuí, estado de São Paulo, Brasil (Mello *et al*., 2018a, 2018b), com diferentes porcentagens de uso e cobertura do solo. A região é caracterizada por atividades agrícolas, com predomínio de culturas anuais e relevo declivoso, e seus mananciais são de extrema importância por abastecerem quatro municípios na região. Foram coletadas amostras de água por um ano hidrológico para obtenção de diferentes variáveis de qualidade da água, como sólidos suspensos orgânicos e inorgânicos, nitrogênio, fósforo, oxigênio dissolvido, turbidez e coliformes fecais. Os resultados mostraram que as microbacias com menor porcentagem de cobertura florestal apresentam valores maiores de sólidos, turbidez, nutrientes e coliformes (Figura 1). Além disso, apresentaram maior variabilidade temporal dos dados em relação às microbacias com maior cobertura florestal. A agricultura e urbanização foram os usos do solo responsáveis pela degradação da qualidade da água, sendo que a urbanização representou valores bem baixos de oxigênio dissolvido e valores elevados de material orgânico na água, e a agricultura foi responsável pelos maiores valores de sedimento e fósforo na água. A pastagem apresentou impactos mistos, porém no geral não foi correlacionado à qualidade da água ruim.

Em 2022 as coletas foram refeitas nas mesmas microbacias. Identificou-se que o padrão de maior concentração de poluentes nas microbacias com predomínio de usos antrópicos manteve-se, inclusive apresentaram maiores valores na concentração de sólidos. A pastagem passou a ser um fator relacionado negativamente a qualidade da água especialmente influenciando maiores aportes de sólidos na água. A concentração de fosfóro nas microbacias diminuiu, provavelmente devido à adoção de melhores técnicas agrícolas (Rigonato, 2022).

Figura 1: Variação espacial da qualidade da água entre as microbacias de estudo nas cabeceiras do Rio Sarapuí – Estado de São Paulo, Brasil. Sendo: OD: oxigênio dissolvido; NTU: turbidez; SST: sólidos suspensos totais; SSI: sólidos suspensos inorgânicos; SSO: sólidos suspensos orgânicos; NT: nitrogênio total; PT: fósforo total; CT: coliformes totais; CF: coliformes fecais. Adaptado de Mello *et al.* (2018b)

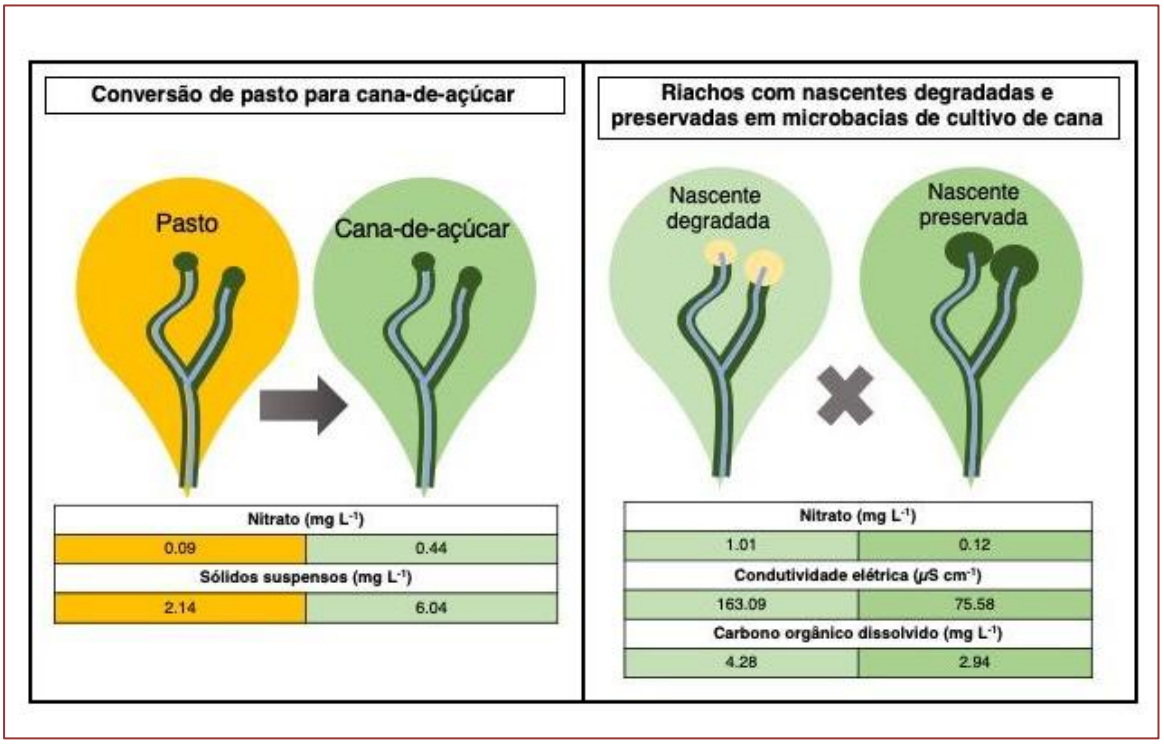


7.2. ESTUDO DE CASO 2 – IMPACTOS DO CULTIVO DE CANA-DE-AÇÚCAR NA QUALIDADE DA ÁGUA EM MICROBACIAS AGRÍCOLAS

Foram selecionadas quatro microbacias na bacia hidrográfica do rio Corumbataí (uma das grandes regiões produtoras de cana-de-açúcar no estado de São Paulo) com o intuito de verificar se a conversão de áreas ocupadas por pasto para cultivos de cana-de-açúcar afetava a qualidade da água e se a presença de vegetação ciliar nas áreas de cabeceira de microbacias agrícolas faziam diferença na questão da qualidade da água (Taniwaki *et al.*,

2017). Os resultados desse estudo demonstraram que as áreas convertidas de pasto para cana-de-açúcar apresentaram maiores concentrações de nitrato e de sólidos suspensos (Figura 2). Em relação à questão da proteção das cabeceiras com florestas em bacias agrícolas, os resultados do estudo demonstraram que simplesmente por não possuir vegetação ripária na área da nascente do riacho, as concentrações de nitrato foram oito vezes maiores, além de apresentar maiores concentrações de carbono orgânico dissolvido e maiores valores de condutividade elétrica da água (Figura 2). Nesse sentido, além da proteção dos riachos por vegetação ripária, é indispensável a adoção de boas práticas agrícolas, considerando que a vegetação ripária não é capaz de mitigar todos os efeitos negativos dentro de uma determinada microbacia agrícola (Guidotti *et al*., 2020).

Figura 2. Variações da qualidade da água em riachos convertidos para o cultivo de cana-de-açúcar e em riachos com nascentes preservadas e degradadas em cultivos de cana-de-açúcar na bacia do rio Corumbataí. Modificado de Taniwaki *et al*. (2017)



7.3. ESTUDO DE CASO 3 – IMPACTOS DO USO DO SOLO URBANO NA QUALIDADE DA ÁGUA

Foram estudadas 13 microbacias e o rio Cuiabá nas cidades de Cuiabá e Várzea Grande, no estado do Mato Grosso, com o intuito de verificar a relação entre ocupação urbana e diversos parâmetros físicos e químicos da água (Zeilhofer; Lima; Lima, 2010). Os principais impactos relacionados ao uso urbano foram (1) esgoto sem tratamento diluído nos rios; (2) influência da impermeabilização do solo, densidade populacional e vazão dos rios na qualidade da água e baixa influência da industrialização; (3) a poluição orgânica dos rios urbanos está relacionada com a densidade populacional, e as concentrações de nutrientes relacionadas com a impermeabilização do solo; (4) poluição por matéria orgânica nos rios persistente durante todo o ano; (5) baixa eficiência no tratamento de

esgoto nas cidades de Cuiabá e Várzea Grande e (6) necessidade de restauração e modernização da infraestrutura de tratamento do esgoto e isolamento da água de chuva na rede de coleta (Zeilhofer; Lima; Lima, 2010). Os problemas detectados por Zeilhofer *et al*., (Zeilhofer; Lima; Lima, 2010) possivelmente são encontrados em grande parte das cidades do Brasil, uma vez que o tratamento de esgoto ainda é um problema persistente nas grandes cidades brasileiras.

8. CONCLUSÃO

Neste capítulo demonstramos os principais efeitos dos usos do solo mais comuns no Brasil. Como é de se esperar, todos os tipos de uso do solo antrópicos causam modificações na qualidade da água dos rios, riachos e reservatórios. Portanto, é extremamente necessário que estudos aprofundem o conhecimento sobre a dinâmica de contaminação por cada tipo de uso do solo e que, mais importante, busquem medidas de mitigação da contaminação da qualidade da água, visto que a densidade populacional tende a aumentar e, portanto, a demanda por produtos também tende a aumentar. Compreender essas relações são fundamentais para subsidiar alternativas de gestão do solo em bacias hidrográficas a fim de reduzir os impactos ambientais. Gerir as bacias hidrográficas para obter maiores vantagens sem acelerar a degradação ambiental é um caminho para o desenvolvimento sustentável.

REFERÊNCIAS

[1] ALBUQUERQUE, A. F.; RIBEIRO, J. S.; KUMMROW, F.; NOGUEIRA, A. J. A.; MONTAGNER, C. C.; UMBUZEIRO, G. A. Pesticides in Brazilian freshwaters: A critical review. **Environmental Science: Processes and Impacts**, v. 18, n. 7, p. 779–787, 2016.

[2] ASHWORTH, A.J.; KATUWAL, S.; MOORE, P.A.; OWENS, P.R. Multivariate evaluation of watershed health based on longitudinal pasture management, **Science of The Total Environment**, v.824, 2022.

[3] BEESON; C.; DOYLE, P. Comparison of Bank Erosion atVegetated and Non-Vegetated Channel Bends. **Water Resources Bulletin**, v.31, n.6, p.983-990, 2007.

[4] BROOKS, K.N.; FFOLLIOTT, P.F.; MAGNER, J. A. **Hydrology and the Management of Watersheds**. 4. ed. Ames: Wiley-Blackwell, 2012.

[5] CABALLERO, C.B.; BIGGS, T.W.; VERGOPOLAN, N.; WEST, T.A.P.; RUHOFF, A. Transformation of Brazil's biomes: The dynamics and fate of agriculture and pasture expansion into native vegetation**.** **Science of the Total Environment**, n.896, 2023.

[6] CIONEK, V. M.; ALVES, G. H. Z.; TÓFOLI, R. M.; RODRIGUES-FILHO, J. L.; DIAS, R. M. Brazil in the mud again: lessons not learned from Mariana dam collapse. **Biodiversity and Conservation**, v. 28, n. 7, p. 1935–1938, 2019.

[7] CRUZ, A. C. F.; GUSSO-CHOUERI, P.; ARAUJO, G. S. De; CAMPOS, B. G.; ABESSA, D. M. de S. Levels of metals and toxicity in sediments from a Ramsar site influenced by former mining activities. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 171, n. July 2018, p. 162–172, 2019. a.

[8] CRUZ, M. A. S.; GONÇALVES, A. de A.; DE ARAGÃO, R.; DE AMORIM, J. R. A.; DA MOTA, P. V. M.; SRINIVASAN, V. S.; GARCIA, C. A. B.; DE FIGUEIREDO, E. E. Spatial and seasonal variability of the water quality characteristics of a river in Northeast Brazil. **Environmental Earth Sciences**, v. 78, n. 3, p. 1–11, 2019. b.

[9] CUNHA, D. G. F.; SABOGAL-PAZ, L. P.; DODDS, W. K. Land use influence on raw surface water quality and treatment costs for drinking supply in São Paulo State (Brazil). **Ecological Engineerin**, v. 94, p. 516–524, 2016.

[10] DA SILVA, P. R. B.; NORA, F. E. D.; DE CASTRO, R. J.; WASTOWSKI, A. D.; MAUAD, F. F. The environmental quality of sediments of rivers near prospection areas of semiprecious rocks. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 191, n. 6, 2019.

[11] DE CARVALHO, D. R.; FLECKER, A. S.; ALVES, C. B. M.; SPARKS, J. P.; POMPEU, P. S. Trophic responses to aquatic pollution of native and exotic livebearer fishes. **Science of the Total Environment**, v. 681, p. 503–515, 2019.

[12] DE OLIVEIRA, L. M.; MAILLARD, P.; DE ANDRADE PINTO, É. J. Modeling the effect of land use/land cover on nitrogen, phosphorous and dissolved oxygen loads in the Velhas River using the concept of exclusive contribution area. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 188, n. 6, p. 333, 2016.

[13] DE OLIVEIRA SILVA, R.; BARIONI, L. G.; HALL, J. A. J.; MORETTI, A. C.; FONSECA VELOSO, R.; ALEXANDER, P.; CRESPOLINI, M.; MORAN, D. Sustainable intensification of Brazilian livestock production through optimized pasture restoration. **Agricultural Systems**, v. 153, p. 201–211, 2017.

[14] DUFFY, C.; O'DONOGHUE, C.; RYAN, M.; KILCLINE, K.; UPTON, V.; SPILLANE, C. The Impact of Forestry as a Land Use on Water Quality Outcomes: An Integrated Analysis. **Forest Policy and Economics,** v.116, 2020.

[15] ELLISON, D. et al. Trees, forests and water: cool insights for a hot world. **Glob. Environ. Change**, v.43, p. 51–61, 2017.

[16] GOMES, L. E. de O.; CORREA, L. B.; SÁ, F.; NETO, R. R.; BERNARDINO, A. F. The impacts of the Samarco mine tailing spill on the Rio Doce estuary, Eastern Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, v. 120, n. 1–2, p. 28–36, 2017.

[17] GORGOGLIONE, A.; GREGORIO, J.; RÍOS, A.; ALONSO, J.; CHRETIES, C.; FOSSATI, M. Influence of Land Use/Land Cover on Surface-Water Quality of Santa Lucía River, Uruguay. **Sustainability**, v.12, 2020.

[18] GUIDOTTI, V.; FERRAZ, S. F. de B.; PINTO, L. F. G.; SPAROVEK, G.; TANIWAKI, R. H.; GARCIA, L. G.; BRANCALION, P. H. S. Changes in Brazil's Forest Code can erode the potential of riparian buffers to supply watershed services. **Land Use Policy**, v.94, 2020.

[19] HALSTEAD, J. A.; KLIMAN, S.; BERHEIDE, C. W.; CHAUCER, A.; COCK-ESTEB, A. Urban stream syndrome in a small, lightly developed watershed: A statistical analysis of water chemistry parameters, land use patterns, and natural sources. **Environmental Monitoring and Assessment**, v.186, n.6, p.3391–3414, 2014.

[20] HUGHES, R.M.; INFANTE, D.M.; WANG, L.; CHEN, K.; TERRA, B.F. (eds.). **Advances in Understanding Landscape Influences on Freshwater Habitats and Biological Assemblages**. Bethesda: American Fisheries Society, 2019.

[21] IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA). Censo agropecuário 2017. 2017. Disponível em: <https://censos.ibge.gov.br/agro/2017/>, Acessado em 02 Jan. 2024.

[22] ICE, G.G.; HALE, V.C.; LIGHT, J.T.; MULDOON, A.; SIMMONS, A.; BOUSQUET, T. Understanding dissolved oxygen concentrations in a discontinuously perennial stream within a managed forest. For Ecol Manage, v.479, 2021.

[23] KUGLEROVÁ, L., JYVSJRVI, J., RUFFING, C., MUOTKA, T., JONSSON, A., ANDERSSON, A., et al. Cutting edge: a comparison of contemporary practices of riparian buffer retention around small streams in Canada, Finland, and Sweden. **Water Resour. Res**. v.56, 2019

[24] LEI, C.; WAGNER, P.D.; FOHRER, N. Effects of land cover, topography, and soil on stream water quality at multiple spatial and seasonal scales in a German lowland catchment, **Ecological Indicators**, v.120, 2021.

[25] LI, X.; NIAN, Y.; ZHOU, J.; HU, X. Impact of land use change on water resource allocation in the middle reaches of the Heihe River Basin in North Western China. **J Arid Land**, v.6, n.3, p.273–286, 2014.

[26] LI, D.; BU, S.; CHEN, S.; LI, Q.; LI, Y. Assessment of the impact of short-term land use/land cover changes on water resources in the Yanghe reservoir basin, China. Water science & technology. **Water supply**, v.22, n.1, p.833-848, 2022.

[27] LIU, J.; CHENG, F.; ZHU, Y.; ZHANG, Q.; SONG, Q.; CUI, X. Urban Land-Use Type Influences Summertime Water Quality in Small- and Medium-Sized Urban Rivers: A Case Study in Shanghai, **China. Land**, v.11, n.511, 2022.

[28] LINTERN. A.; WEBB, J.A.; RYU, D.; LIU, S.; BENDE-MICHL, U.; WATERS, D.; LEAHY, P.; WILSON, P.; WESTERN, A.W. Key factors infuencing diferences in stream water quality across space. **Wires Water,** v.5, 2018.

[29] MAPBIOMAS **– Mapeamento anual de cobertura e uso da terra no Brasil entre 1985 a 2022** – Coleção 8. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/wp-content/uploads/sites/4/2023/09/FACT_port-versao-final.pdf> Acessado em 05 Jan. 2024.

[30] MARTINELLI, L. A.; NAYLOR, R.; VITOUSEK, P. M.; MOUTINHO, P. Agriculture in Brazil: Impacts, costs, and opportunities for a sustainable future. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 2, n. 5–6, p. 431–438, 2010.

[31] MARX, C.; TETZLAFF, D.; HINKELMANN, R.; SOULSBY, C. Effects of 66 years of water management and hydroclimatic change on the urban hydrology and water quality of the Panke catchment, Berlin, Germany, **Science of The Total Environment**, v.900, 2023.

[32] MATOVELLE, C. Páramo to Pasture Conversion in a Mountain Watershed: Effects on Water Quality and Quantity. **Mountain Research and Development**, v.41, n.4, 2021.

[33] MAY, B.; SMETHURST, P.; CARLYLE, C.; MENDHAM, D.; BRUCE, J.; BAILLIE, C. **Review of Fertiliser Use in Australian Forestry, Forest and Wood Products Australia Limited**. Project Number: RC072–0708. Victoria, Australia. 2019.

[34] MELLO, K. De; VALENTE, R. A.; RANDHIR, T. O.; DOS SANTOS, A. C. A.; VETTORAZZI, C. A. Effects of land use and land cover on water quality of low-order streams in Southeastern Brazil: Watershed versus riparian zone. **Catena**, v. 167, n. April, p. 130–138, 2018. a.

[35] MELLO, K. D.; VALENTE, R. A.; RANDHIR, T. O.; VETTORAZZI, C. A. Impacts of tropical forest cover on water quality in agricultural watersheds in southeastern Brazil. **Ecological Indicators**, v. 93, 2018. b.

[36] MENESES, B.M.; REIS, R.; VALE, M.J.; SARAIVA, R. Land use and land cover changes in Zêzere watershed (Portugal) — Water quality implications. **Science of The Total Environment**, v. 527–528, 2015.

[37] MEYER, J. L.; PAUL, M. J.; TAULBEE, W. K. Stream ecosystem function in urbanizing landscapes**. Journal of the North American Benthological Society**, v.24, n.3, p.602–612, 2005.

[38] MINGOTI, R.; VETTORAZZI, C. A. Relative reduction in annual soil loss in micro watersheds due to the relief and forest cover rafael mingoti 1 , carlos a. vettorazzi 2. **Engenharia Agrícola**, v. 31, n. 6, p. 1202–1211, 2011.

[39] MOREIRA, F. W. A.; LEITE, M. G. P.; FUJACO, M. A. G.; MENDONÇA, F. P. C.; CAMPOS, L. P.; ESKINAZI-SANT'ANNA, E. M. Assessing the impacts of mining activities on zooplankton functional diversity. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 28, n. 0, 2016.

[40] OECD (2013). **Water Quality and Agriculture: Meeting The Policy Challenge**. OECD Studies on Water, OECD Publishing. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1787/9789264168060-en>, Acesso em 05 Jan. 2024.

[41] OGDEN, F. L.; CROUCH, T. D.; STALLARD, R. F.; HALL, J. S. Effect of land cover and use on dry season river runoff, runoff efficiency, and peak storm runoff in the seasonal tropics of Central Panama. **Water Resources Research**, v. 49, n. 12, p. 8443–8462, 2013.

[42] PALM, C.; BLANCO-CANQUI, H.; DECLERCK, F.; GATERE, L.; GRACE, P. Conservation agriculture and ecosystem services: An overview. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 187, p. 87–105, 2014.

[43] PAULA, F.R.; GERHARD, P.; FERRAZ, S.F.B. WENGER, S.J. Multi-scale assessment of forest cover in an agricultural landscape of Southeastern Brazil: Implications for management and conservation of stream habitat and water quality. **Ecological Indicators,** v.85, p.1181–119, 2018.

[44] PAYN, T.; CARNUS, J. M.; FREER-SMITH, P.; KIMBERLEY, M.; KOLLERT, W.; LIU, S.; ORAZIO, C.; RODRIGUEZ, L.; SILVA, L. N.; WINGFIELD, M. J. Changes in planted forests and future global implications. **Forest Ecology and Management**, v. 352, p. 57–67, 2015.

[45] PERESSIN, A.; DA SILVA GONÇALVES, C.; CETRA, M. Ichthyofauna diet changes in response to urbanization: the case of upper Paranapanema River basin (Brazil). **Urban Ecosystems**, v. 21, n. 4, p. 795–803, 2018.

[46] PLUTH, T.B.; BROSE, D.A.; GALLAGHER, D.W.; WASIK, J. Long-term trends show improvements in water quality in the Chicago metropolitan region with investment in wastewater infrastructure, deep tunnels, and reservoirs. **Water Resour. Res.,** v.57, 2021.

[47] QIU, M.; XIAOHUA, W., HOU. Y.; SPENCER, S. A., HUI. J. Forest Cover, Landscape Patterns, and Water Quality: A Meta-analysis. **Landscape Ecology**, v. 38, n.4, p.877-901, 2023.

[48] REISINGER, A.J.; WOYTOWITZ, E.; MAJCHER, E.; ROSI, E.J.; BELT, K.T.; DUNCAN, J.M.; KAUSHAL, S.S.; GROFFMAN, P.M. Changes in long-term water quality of Baltimore streams are associated with both gray and green infrastructure. **Limnol. Oceanogr**., v.64, pp. S60-S76, 2019.

[49] ROCHE, L.M.; KROMSCHROEDER, L.; ATWILL, E.R.; DAHLGREN, A.R.; TATE, K.W.Water quality conditions associated with cattle grazing and recreation on National forest lands. **PLos One**, v.8, 2013.

[50] RIGONATO, M.B. **Pagamentos por Serviços Ecossistêmicos Visando à Manutenção dos Recursos Hídricos**. Tese (Doutorado em Planejamento e Uso dos Recursos Renováveis). Centro de Ciências e Tecnologias para a Sustentabilidade – Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, p.90, 2024.

[51] RODRIGUES, C. B.; TANIWAKI, R. H.; LANE, P.; DE PAULA LIMA, W.; DE BARROS FERRAZ, S. F. Eucalyptus short-rotation management effects on nutrient and sediments in subtropical streams. **Forests**, v. 10, n. 6, p. 1–13, 2019.

[52] ROTICH, B.; KINDU, M.; KIPKULEI, H.; KIBET, S.; OJWANG, D. Impact of Land Use/land Cover Changes on Ecosystem Service Values in the Cherangany Hills Water Tower, Kenya. **Environmental Challenges**, v.8, 100576, 2022.

[53] RUDORFF, N.; RUDORFF, C. M.; KAMPEL, M.; ORTIZ, G. Remote sensing monitoring of the impact of a major mining wastewater disaster on the turbidity of the Doce River plume off the eastern Brazilian coast. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 145, p. 349–361, 2018.

[54] SAAD, S. I. et al. Analyzing ecological restoration strategies for water and soil conservation. **PLoS ONE,** v. 13, n. 2, p. 1–27, 2018.

[55] SANTOS, O. S. H.; AVELLAR, F. C.; ALVES, M.; TRINDADE, R. C.; MENEZES, M. B.; FERREIRA, M. C.; FRANÇA, G. S.; CORDEIRO, J.; SOBREIRA, F. G.; YOSHIDA, I. M.; MOURA, P. M.; BAPTISTA, M. B.; SCOTTI, M. R. Understanding the Environmental Impact of a Mine Dam Rupture in Brazil: Prospects for Remediation. **Journal of Environmental Quality**, v. 48, n. 2, p. 439–449, 2019.

[56] SATTLER, D.; SELIGER, R.; NEHREN, U.; DE TORRES, F. N.; DA SILVA, A. S.; RAEDIG, C.; HISSA, H. R.; HEINRICH, J. **Pasture Degradation in South East Brazil: Status, Drivers and Options for Sustainable Land Use Under Climate Change**. In: LEAL FILHO, W.; ESTEVES DE FREITAS, L. (Eds.). Climate Change Adaption in Latin America – Managing Vulnerability, Fostering Resilience. Climate Change Management, Springer, Cham: 3- 17, 2018.

[57] SCHILLING, K. E.; JACOBSON, P. Effectiveness of natural riparian buffers to reduce subsurface nutrient losses to incised streams. **Catena**, v. 114, p. 140–148, 2014.

[58] SHAH, N.W.; BAILLIE, B.R.; BISHOP, K.; FERRAZ, S.; HÖGBOM, L.; NETTLES, J. The effects of forest management on water quality. **Forest Ecology and Management**, v.522, 2022.

[59] SOS MATA ATLÂNTICA. **Observando os Rios 2019: o retrato da qualidade da água nas bacias da Mata Atlântica**. São Paulo: SOS Mata Atlântica, 2019. Disponível em: <www.sosma.org.br> Acessado em: 15 Jan. 2024.

[60] STOATE, C.; BÁLDI, A.; BEJA, P.; BOATMAN, N.D.; HERZON, I.; VAN DOORN, A.; DE SNOO, G.R.; RAKOSY, L.; RAMWELL, C. Ecological impacts of early 21st century agricultural change in Europe – a review**. J. Environ. Manag**. v.91, p.22–46, 2009.

[61] STRASSBURG, B. B. N.; LATAWIEC, A. E.; BARIONI, L. G.; NOBRE, C. A.; DA SILVA, V. P.; VALENTIM, J. F.; VIANNA, M.; ASSAD, E. D. When enough should be enough: Improving the use of current agricultural lands could meet production demands and spare natural habitats in Brazil. **Global Environmental Change**, [s. l.], v. 28, n. 1, p. 84–97, 2014. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.06.001

[62] TANAKA, M. O.; DE SOUZA, A. L. T.; MOSCHINI, L. E.; DE OLIVEIRA, A. K. Influence of watershed land use and riparian characteristics on biological indicators of stream water quality in southeastern Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, [s. l.], v. 216, p. 333–339, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2015.10.016>

[63] TANIWAKI, R. H.; CASSIANO, C. C.; FILOSO, S.; FERRAZ, S. F. de B.; CAMARGO, P. B. De; MARTINELLI, L. A. Impacts of converting low-intensity pastureland to high-intensity bioenergy cropland on the water quality of tropical streams in Brazil. **Science of the Total Environment**, [s. l.], 2017.

[64] Trata BRASIL. Esgoto. Disponível em: <https://tratabrasil.org.br/principais-estatisticas/esgoto> . Acessado em: 15 Jan 2024.

[65] TROMBONI, F.; DODDS, W. K. Relationships Between Land Use and Stream Nutrient Concentrations in a Highly Urbanized Tropical Region of Brazil: Thresholds and Riparian Zones. **Environmental Management**, [s. l.], v. 60, n. 1, p. 30–40, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s00267-017-0858-8>

[66] TUCCI, C.E.M. **Urban flood management**. Porto Alegre: World Meteorological Organization and Cap-Net International Network for Capacity Building in Integrated Water Resources Management, 2007.

[67] TWISA, S.; MWABUMBA, M.; KURIAN, M.; BUCHROITHNER, M. F. Impact of Land-Use/Land-Cover Change on Drinking Water Ecosystem Services in Wami River Basin, Tanzania. **Resources (Basel),** v.9, n.4, p.37, 2020.

[68] UNITED NATIONS WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME, UN-Water. 2018. **The United Nations World Water Development Report 2018: NatureBased Solutions for Water**. Paris, UNESCO, 2018.

[69] URIARTE, M.; YACKULIC, C. B.; LIM, Y.; ARCE-NAZARIO, J. A. Influence of land use on water quality in a tropical landscape: A multi-scale analysis. **Landscape Ecology**, [s. l.], v. 26, n. 8, p. 1151–1164, 2011.

[70] WALSH, C. J.; ROY, A. H.; FEMINELLA, J. W.; COTTINGHAM, P. D.; GROFFMAN, P. M.; MORGAN, R. P. The urban stream syndrome: Current knowledge and the search for a cure. **Journal of the North American Benthological Society**, v.24, n.3, p.706–723, 2005.

[71] WALKER, B.; SALT, D. **Resilience Thinking: Sustaining Ecosystems and People in a Changing World**. Island Press, Washington, D.C. 2006.

[72] XIAO, R.; WANG, G.; ZHANG, Q.; ZHANG, Z. Multi-scale analysis of relationship between landscape pattern and urban river water quality in different seasons. **Scientific Reports**, [s. l.], v. 6, n. November 2015, p. 1–10, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1038/srep25250>

[73] ZEILHOFER, P.; LIMA, E. B. N. R.; LIMA, G. A. R. Land use effects on water quality in the urban agglomeration of Cuiabá and Várzea Grande, Mato Grosso State, central Brazil. **Urban Water Journal**, [s. l.], 2010.

[74] ZEMKE, J.J.; ENDERLING, M.; KLEIN, A.; SKUBSKI, M. The influence of soil compaction on runof formation. A case study focusing on skid trails at forested andosol sites. **Geosciences**, v.9, 2018.

Capítulo 11

Estudo da fragilidade potencial na Bacia do Rio Verdinho (Goiás), bioma Cerrado

Wellmo dos Santos Alves
Alécio Perini Martins
Nicoly Girotto Morais
Wilker Alves Morais
Évelyn Márcia Pôssa
Derick Martins Borges de Moura

Resumo: A quantidade e qualidade dos recursos hídricos são cruciais para a continuidade e equilíbrio da vida na Terra, bem como para manutenção e desenvolvimento das sociedades. Considerando os impactos negativos das ações humanas sobre os recursos hídricos, este estudo teve como objetivo analisar a fragilidade potencial na bacia hidrográfica (BH) do Rio Verdinho, no Sudoeste de Goiás. Nessa bacia, está em andamento um projeto de captação de água para atender à crescente demanda hídrica da população urbana de Rio Verde – GO. A análise da Fragilidade Potencial foi realizada com base no modelo proposto por Ross (1994) utilizando geotecnologias, visando fornecer informações para subsidiar o planejamento e a gestão ambiental desta BH. O modelo integra fatores físicos naturais, como erosividade, tipos de solos e dissecação do relevo. Os resultados indicam que a maior parte da área apresenta "baixa" a "média" Fragilidade Potencial, sendo apropriada para práticas agropecuárias com manejo e uso do solo adequados. No entanto, a presença de dissecação do relevo com fragilidade forte e muito forte, assim como solos com fragilidade "média", "forte" e "muito forte"nos trechos médio e baixo da bacia, contribuem para a formação de áreas com Fragilidade Potencial variando de média a alta. Estes resultados são fundamentais para o planejamento e gestão da BH e contribuem para o direcionamento espacial das ações de conservação dos recursos hídricos nas zonas mais frágeis.

Palavras-chave: Análise Ambiental, Geotecnologias, Unidades Ecodinâmicas, Risco Ambiental, Susceptibilidade Ambiental.

1. INTRODUÇÃO

A (re)organização do território requer um diagnóstico que permita compreender as características, as aptidões e, principalmente, a capacidade de suporte ambiental das áreas a serem utilizadas. Esse entendimento é crucial para racionalizar e compatibilizar o tipo de uso e cobertura da terra, as limitações e as potencialidades de determinada área (Tricart, 1977; Ab'Sáber, 2003). Para fornecer informações, apoiar o planejamento e a gestão ambiental de sistemas naturais e antrópicos no Brasil foram desenvolvidos modelos diagnósticos e preditivos, tendo como base a Ecodinâmica de Tricart (1977),

A Ecodinâmica é uma concepção ecológica que analisa o ambiente sob a ótica da Teoria dos Sistemas (Von Bertalanffy, 1968), partindo do pressuposto de que, na natureza, as trocas de energia e matéria ocorrem por meio de relações em equilíbrio dinâmico. Isso implica que a evolução natural dos componentes do ambiente ocorre de forma harmoniosa. Nessa perspectiva, as unidades ecodinâmicas são classificadas em estáveis (ambientes em "equilíbrio" tendendo a uma condição de "clímax"), de estabilidade intermediária ou meios "intergrades" (unidades da paisagem com transição gradual entre os meios estáveis e instáveis) e instáveis (meios em que prevalece a morfogênese), utilizando de uma análise sistêmica (Tricart, 1977). Dessa forma, a dinâmica dos ecossistemas e do meio ambiente é crucial para o desenvolvimento e a conservação dos recursos ecológicos (Bedoya, 2020; Ortega, 2020).

Nesse sentido, a fragilidade ambiental de uma bacia hidrográfica refere-se à sua sensibilidade aos impactos ambientais e à capacidade de se recuperar desses impactos. Os principais aspectos que influenciam a fragilidade ambiental são a biodiversidade, a qualidade de água, erosão do solo, uso do solo, mudanças climáticas e pressão humana (Campos *et al*., 2021).

A biodiversidade é um elemento fundamental na capacidade de uma bacia hidrográfica de resistir a perturbações e se recuperar delas. A diversidade e a qualidade dos ecossistemas presentes na bacia desempenham um papel crucial nesse aspecto, fornecendo serviços ecossistêmicos essenciais e contribuindo para a estabilidade ecológica (Li *et al*., 2022). A qualidade da água é outro fator determinante para a saúde ambiental de uma bacia hidrográfica. A poluição da água por substâncias químicas, sedimentos e microrganismos compromete diretamente a qualidade dos ecossistemas aquáticos e a disponibilidade de água potável para as comunidades humanas que dependem desses recursos hídricos (Giri, 2021).

A erosão do solo representa uma ameaça significativa para a estabilidade e a qualidade das bacias hidrográficas. A perda de solo devido à erosão não apenas diminui a fertilidade do solo, mas também contribui para o aumento da sedimentação nos corpos d'água e a degradação dos habitats terrestres, afetando assim a biodiversidade e a qualidade da água (Sinshaw *et al*., 2021). O uso do solo desempenha um papel crucial na determinação da fragilidade ambiental de uma bacia hidrográfica. A conversão de áreas naturais para atividades agrícolas, urbanização desordenada e extração de recursos naturais podem levar à fragmentação do habitat, perda de biodiversidade e degradação do solo, comprometendo a integridade ecológica da bacia (Li *et al*., 2021).

As mudanças climáticas representam um desafio adicional para as bacias hidrográficas em todo o mundo. Alterações nos padrões de precipitação, temperatura e eventos climáticos extremos podem agravar os impactos sobre os ecossistemas e recursos hídricos da bacia, aumentando a vulnerabilidade dos sistemas naturais e das comunidades humanas (Thompson *et al*., 2021). Por fim, a pressão humana exercida sobre uma bacia

hidrográfica, através de atividades como agricultura intensiva, desmatamento, expansão urbana e poluição, desempenha um papel significativo na sua fragilidade ambiental. O equilíbrio entre o desenvolvimento humano e a conservação dos recursos naturais torna-se crucial para garantir a sustentabilidade desses ecossistemas vitais (Cunha e Bravo, 2022).

Um índice de fragilidade ambiental, fundamentado na teoria das unidades ecodinâmicas de Tricart (1977), foi proposto por Ross (1994) e é amplamente utilizado no Brasil (Anjinho *et al*., 2020). O modelo de Ross (1994), denominado Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antrópicos, relaciona-se com fatores de desequilíbrio natural (incluindo a propensão da dissecação do relevo, do solo e da precipitação pluviométrica à erosão) e antropogênicos (uso e cobertura da terra). Ao analisarem os efeitos da restauração do Cerrado sobre as propriedades hidrológicas sazonais do solo, Pereira *et al*. (2022) argumentam que a alteração dos padrões de precipitação (quantidade, intensidade e frequência) e de outras formas de precipitação é um dos fatores mais críticos e determinantes do impacto global das alterações climáticas nas diferentes regiões.

Esse modelo de Ross (1994) considera esses aspectos do meio físico como cruciais e devem ser analisados de forma integrada para gerar resultados voltados ao planejamento e à gestão ambiental, conforme destacam Amaral e Ross (2009) e Santos (2015). Assim, é importante compreender dois conceitos relacionados a esse modelo: a Fragilidade Potencial e a Fragilidade Emergente. O primeiro refere-se à vulnerabilidade natural de um ambiente em função de seus atributos físicos naturais (relevo, tipos de solos e erosividade), enquanto o segundo trata dos graus de proteção dos diferentes tipos de uso e cobertura da terra em relação ao meio (Ross, 1994; 2012).

Segundo Ross (1994; 2012), a abordagem ecológica da fragilidade ambiental baseia-se na perspectiva da teoria dos sistemas, na qual as trocas naturais de energia e matéria são realizadas por meio de relações de equilíbrio dinâmico. Esse equilíbrio é frequentemente perturbado por intervenções humanas, criando estados temporários ou mesmo permanentes de desequilíbrio (Cruz *et al*., 2017). A análise da fragilidade ambiental com base na Proposta de Ross (1994) requer que os componentes físicos naturais sejam avaliados de forma sistêmica e holística, considerando a complexidade destes com as atividades humanas (Anjinho *et al*., 2020). É necessário um entendimento aprofundado de cada aspecto físico inserido no modelo para uma compreensão adequada das Fragilidades Potencial e Emergente do ambiente.

O equilíbrio dinâmico é frequentemente alterado pelo homem, resultando em estados de desequilíbrios reversíveis ou irreversíveis. Neste último caso, tem-se como exemplo a exploração intensiva das terras em busca de ganhos de produtividade, por meio do desmatamento de grandes áreas para produção agropecuária, comprometendo bacias hidrográficas com erosão, assoreamento de cursos hídricos e outros danos ambientais (Alves *et al*., 2018). Segundo Spörl e Ross (2004), quaisquer alterações no solo, na cobertura vegetal, na topografia, no clima e nos recursos hídricos comprometem a funcionalidade do sistema, interrompendo o equilíbrio dinâmico e podendo causar erosão e sedimentação (Costa et al., 2019; Anjinho *et al*., 2020).

Tratando-se das áreas do Cerrado, também associado ao termo Savana brasileira, seus solos apresentam profundidade e lixiviação consideráveis por se tratar de um bioma antigo com forte intemperismo (Rocha et al., 2023, p. 132). Também considerado a principal fronteira de expansão agrícola no Brasil, em 2023 o bioma apresentou as maiores taxas de incremento de desmatamento acumulado nos estados de Tocantins

(16,23%), Goiás (15,75%), Maranhão (15,58%), Mato Grosso (14,70%) e Minas Gerais (13,52%), tendo sua área de vegetação nativa suprimida em 11.011,70 km^2 no mesmo ano, segundo dados do PRODES Cerrado, projeto desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE e disponibilizado pela plataforma TerraBrasilis (INPE, 2023). O avanço da agricultura temporária ocorreu em todos os biomas, mas especialmente no Cerrado, onde a soja aumentou mais de 15 vezes, atingindo cerca de 18 milhões de hectares, tornando-se o principal bioma em termos de área agrícola e área de soja no país. Apesar do crescimento acelerado da Amazônia nos últimos anos (cerca de 5,2 Mha), o Cerrado representa aproximadamente 48% da área de soja no Brasil e cerca de 3,3 vezes a área de soja na Amazônia. Até 2022, a soja respondeu por 11% da área do bioma. (MapBiomas, 2023).

A partir da versão preliminar do 4ª Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas no Bioma Cerrado – PPCerrado desenvolvido pelo Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima – MMA, a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada no Rio de Janeiro em 1992 (Eco-92), influenciou diretamente a elaboração de convenções internacionais voltadas para o enfrentamento de três desafios globais de expressão no Cerrado: mudanças climáticas, desertificação e biodiversidade (Brasil, 2024, p. 19). O próprio desmatamento acelerado na região tem levado a mudanças nos processos da paisagem, como o rápido rebaixamento do lençol freático, o aquecimento e a aridização da superfície terrestre, resultando em perdas de biodiversidade, matéria orgânica e biomassa, muitas vezes levando a diversos fenômenos sistêmicos de desertificação, que por sua vez têm e irão agravar seriamente as consequências das mudanças climáticas. Por essa razão, nas últimas décadas, o Brasil tem liderado e internalizado compromissos multilaterais que contribuem para a conservação ambiental do Cerrado (Brasil, 2024, p. 42).Continuamente, em vários estudos e discussões sobre fragilidade ambiental nas diferentes regiões brasileiras como os de Falcão e Monteiro (2022), Da Silva e Bacani (2023), e Nascimento e Morais (2023), o método de Ross (1994) segue se provando um modelo capaz de espacializar os níveis de fragilidade de forma coerente, sendo inclusive adaptável a outras metodologias, possibilitando ainda melhorias nos procedimentos metodológicos para esse tipo de proposta científica (Soares; Oliveira, 2023).

Nessa perspectiva, objetivou-se analisar a Fragilidade Potencial da Bacia Hidrográfica (BH) do Rio Verdinho, na Savana brasileira, com base no modelo proposto por Ross (1994) e utilizando geotecnologias, visando fornecer dados a partir de integração de aspectos naturais para apoiar o planejamento e a gestão ambiental dessa unidade hidrográfica e outros estudos. A escolha da BH do Rio Verdinho como recorte espacial para este estudo deve-se à sua relevância para o município de Rio Verde – GO, sendo recurso estratégico de abastecimento público.

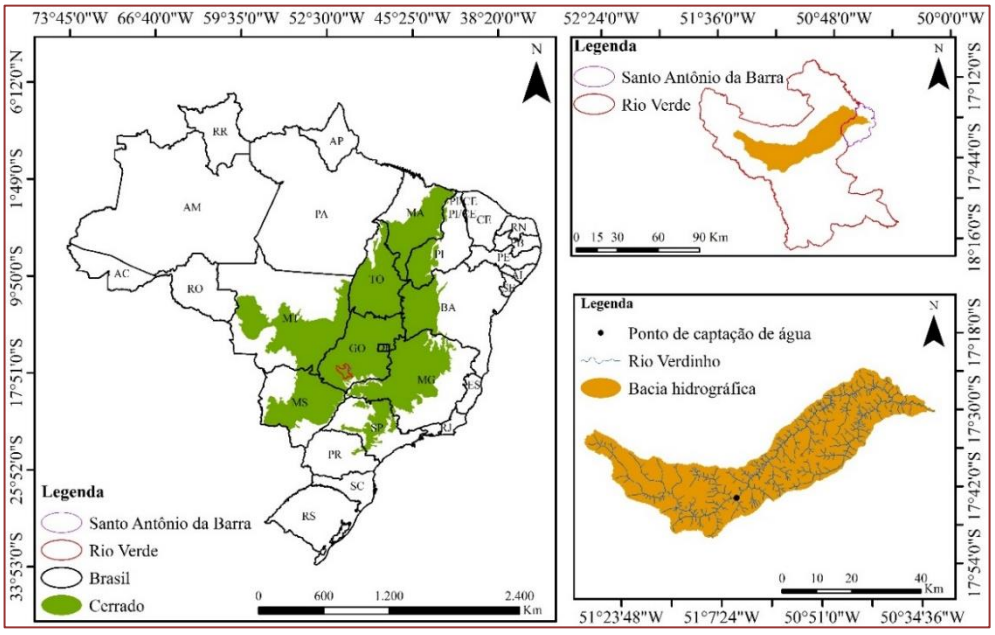
2. MATERIAL E MÉTODOS

A etapa de geoprocessamento foi conduzida no ArcGIS 10.6.1® (ESRI, 2019), licenciado para o Laboratório de Geoinformação da Universidade Federal de Goiás/Regional de Jataí. Os produtos cartográficos sobre a Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antrópicos foram elaborados noDatumSistema de Referência Geocêntrico para as Américas – SIRGAS 2000 e na projeção Universal Transversa de Mercator – UTM, Zona 22 Sul (S), com escala de 1:150.000.

2.1. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A BH do Rio Verdinho abrange uma área de 154.430,19 ha, sendo que a área de contribuição à montante do ponto de captação de água é de 59.010,93 ha. Localiza-se na região da Savana brasileira, conhecida como Cerrado, mais especificamente no Sudoeste de Goiás, Brasil, abrangendo os municípios de Rio Verde e Santo Antônio da Barra. As coordenadas geográficas da área estão entre 17°29'53,33"S/50°31'34,73"W e 17°33'57,20"S/51°29'14,36"W, inserindo-se na unidade geomorfológica do Planalto Setentrional da Bacia Do Paraná, e na subunidade do Planalto de Rio Verde (Nascimento, 1992). No contexto geológico a área se insere no compartimento tectônico da Bacia Sedimentar do Paraná, contendo litologias na sua maioria do Grupo Serra Geral, da Formação Vale do Rio do Peixe e das Coberturas detríticas indiferenciadas e lateríticas ferruginosas (Moreira et al., 2008). A região é caracterizada por vegetações savânicas, florestais e campestres, com remanescentes localizados principalmente nos vales fluviais, representados por matas de galeria e ciliares (Figura 1).

Figura 1. Localização da bacia hidrográfica do Rio Verdinho, no Sudoeste de Goiás, Brasil



Elaborado no sistema de coordenadas geográficas, Sirgas 2000 e Zona 22S.
Fonte: Organizado por Alves (2019) a partir de bases de dados geográficos disponibilizadas pelo Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás (SIEG, 2018).

2.2. BASES DE DADOS, GERAÇÃO E ORGANIZAÇÃO DOS PRODUTOS CARTOGRÁFICOS

2.2.1. BASES DE DADOS

As bases de dados utilizadas neste estudo foram compiladas das seguintes bases de dados online: *United States Geological Survey* – USGS; Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás – SIEG; HidroWeb, integrante do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos – SNIRH, sob gestão da Agência Nacional de Águas – ANA; e Banco de Dados

Meteorológico para Ensino e Pesquisa – BDMEP. Os dados utilizados são detalhados a seguir:

a) Imagem *Shuttle Radar Topography Mission* – SRTM, com resolução espacial de 30 m x 30 m, da Grade SRTM Brasil, S18/W051 e S18/W052, gerada em colaboração entre a *National Aeronautics and Space Administration* – NASA, *National Imagery and Mapping Agency* – NIMA, do Departamento de Defesa – DoD dos Estados Unidos, e agências espaciais da Alemanha e Itália, disponibilizada pelo USGS (2017);

b) Mapa de Solos do Plano Diretor da Bacia do Rio Paranaíba, na escala 1:250.000, geração de 01 de março de 2005, produzido pela Universidade Federal de Viçosa (UFV, 2005)/Fundação Rural Minas (2005); modelagem, alimentação do SIG e edição das cartas pela Superintendência de Geologia e Mineração – SGM (2005)/Secretaria Estadual de Indústria e Comércio de Goiás – SIC (2005), disponibilizado pelo SIEG (2017); e

c) Para o estudo da erosividade, foram compilados dados de precipitação pluviométrica observados ao longo de 20 anos (1997 a 2016) da estação climatológica 83470 Rio Verde, disponibilizados pelo BDMEP (2018); e dados compilados do banco de dados da página HidroWeb da ANA (2018), referentes a um período de 40 anos (1976 a 2016) das estações pluviométricas 01750003 Ponte Rio Verdão, 01750004 Ponte Rodagem, 01750008 Fazenda Paraíso, 01751001 Ponte Rio Doce, 01751002 Benjamin Barros e 01751004 Montividiu, além de um período de 19 anos (1980 a 1998) da estação 01751003 Jataí.

2.2.2. GERAÇÃO E ORGANIZAÇÃO DOS MAPAS DE ENTRADA NO MODELO

Um arquivo de delimitação da BH no formato *shapefile* (shp), gerado a partir do SRTM e utilizando a extensão ArcHidro do ArcGIS, foi empregado para realizar os recortes da área de interesse com base nas bases de menor escala. A partir do modelo SRTM, também foram gerados os *rasters* referentes às Dimensões Interfluviais Médias – DIMs e ao Grau de Entalhamento dos Vales – GEVs da BH. As DIMs e os GEVs foram reclassificados e somados para a obtenção dos índices da matriz de dissecação do relevo, conforme o método proposto por Guimarães et al. (2017). Posteriormente, esses índices foram reclassificados de acordo com os níveis de fragilidade propostos por Ross (1994), apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Matriz dos índices de dissecação do relevo

Graus de entalhamento dos vales	Dimensão interfluvial média				
	Muito baixa (1) >3.750 m	Baixa (2) 1.750 – 3750 m	Média (3) 750 – 1.750 m	Alta (4) 250 – 750 m	Muito alta (5) <250 m
Muito fraco (1) <20 m	11	12	13	14	15
Fraco (2) 20 – 40 m	21	22	23	24	25
Médio (3) 40 – 80 m	31	32	33	34	35
Forte (4) 80 – 160 m	41	42	43	44	45
Muito forte (5) >160 m	51	52	53	54	55

Fonte: Ross (1994).

O MS da área de estudo foi extraído do Mapa de Solos do Plano diretor da Bacia do Rio Paranaíba, utilizando o arquivo shp do limite da BH e a ferramenta Clip do ArcGIS, atualizado conforme Santos et al. (2013) e reclassificado de acordo com a proposta de Ross (1994) para o grau de fragilidade.

Quanto a erosividade da chuva, o fator R foi obtido por meio da Equação 1 (Wischmeier e Smith, 1978), a qual é adaptada para as condições ambientais brasileiras por Lombardi Neto e Moldenhauer (1977) *apud* Bertoni e Lombardi Neto (2014):

$$EI30 = \sum_{i=1}^{12} 67{,}355 * \left(\frac{r_i^2}{P}\right)^{0{,}85} \qquad \text{(Equação 1)}$$

Na qual: EI30 é a média anual do índice de erosividade, em MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1}; r**,** a média dos totais mensais de precipitação, em mm; e P, a média dos totais anuais de precipitação, em mm.

Com o propósito de classificar a BH quanto à erosividade da chuva, conforme Carvalho (2008), o valor obtido em MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1} foi convertido em ton.m.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1}, ou seja, o valor inicial foi dividido por 9,81, passando do sistema métrico internacional para o sistema métrico decimal. Os resultados de erosividade de cada ponto pluviométrico foram espacializados para gerar o mapa de isolinhas por meio do interpolador *Spline*. Em seguida, utilizando o mapa de isolinhas, o arquivo shp do limite da BH e a ferramenta Extract by Mask, extraído o ME. Os índices de erosividade foram comparados com as classes propostas por Carvalho (2008), conforme observado em Cabral et al. (2011). Os valores de erosividade propostos por Carvalho (2008) são classificados em cinco níveis hierárquicos, que variam de erosividade muito baixa (250 ton.m.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1}) a muito alta (>1000 ton.m.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1}), conforme Tabela 2.

Tabela 2. Classes de erosividade da chuva (média anual)

Classes de erosividade	Erosividade em ton.m.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1}
1.Muito baixa	R < 250
2.Baixa	250 < R < 500
3.Média	500 < R < 750
4.Alta	750 < R < 1000
5.Muito alta	R > 1000

Fonte: Carvalho (2008).

2.2.3. GERAÇÃO E ORGANIZAÇÃO DO MAPA DA FRAGILIDADE POTENCIAL

O estudo da Fragilidade Potencial seguiu os níveis metodológicos propostos por Ross (1994), sendo os valores da fragilidade atribuídos em cada categoria do mapa de dissecação do relevo e do mapa de solos (Tabela 3).

Tabela 3. Classificação dos níveis de intensidade da fragilidade

Fragilidade	Valor numérico
Muito baixa	1
Baixa	2
Média	3
Forte	4
Muito forte	5

Fonte: Ross (1994).

Os mapas gerados/organizados foram integrados por meio álgebra de mapas, aplicando a Equação 1 para obtenção do mapa de Fragilidade Potencial:

$$MFP = (MDR + MS + ME)/3 \text{ (Equação 1)}$$

Na qual: MFP é o mapa da Fragilidade Potencial; MDR, o mapa da dissecação do relevo; MS, o mapa de solos; e ME, o mapa da erosividade.

Observa-se que para gerar o mapa de Fragilidade Potencial (mapa síntese da fragilidade natural do ambiente), foram integrados os mapas de aspectos físicos naturais do ambiente (dissecação do relevo, solos e erosividade) e dividido por três. Estes foram reclassificados, levando em consideração as cinco classes propostas por Ross (1994), e convertidos para polígonos, tornando possível obter a área em ha correspondente a cada classe de Fragilidade Potencial.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados e a discussões estão organizados separadamente por fatores: relevo, solos, erosividade e pela análise integrada desses. Em seguida, o uso e cobertura da terra foram analisados de forma isolada e, posteriormente, integrada, a fim de proporcionar uma compreensão sinérgica dos aspectos físicos naturais da BH do Rio Verdinho e dos usos antrópicos.

Para a análise da dissecação do relevo, utilizou-se uma abordagem morfométrica fundamentada na DIM e no GEV (Ross, 1992; 1994). Os resultados das DIMs foram categorizados em muito baixa, baixa, média e alta, enquanto os GEVs foram classificados em muito fraco, fraco, médio, forte e muito forte. A Tabela 4 apresenta a matriz dos índices de dissecação do relevo, obtida a partir da integração das DIMs e dos GEVs.

Tabela 4. Resultados obtidos para a matriz dos índices de dissecação do relevo da bacia hidrográfica do Rio Verdinho, Savana (Brasil)

Graus de entalhamento dos vales	Dimensão interfluvial média				
	Muito baixa (1) >3.750 m	Baixa (2) 1.750 – 3750 m	Média (3) 750 – 1.750 m	Alta (4) 250 – 750 m	Muito alta (5) <250 m
Muito fraco (1)<20 m	11	12	13	14	15
Fraco (2) 20 – 40 m	21	22	23	24	25
Médio (3) 40 – 80 m	31	32	33	34	35
Forte (4) 80 – 160 m	41	42	43	44	45
Muito forte (5) >160 m	51	52	53	54	55

Fonte: Elaborada por Alves (2019) a partir da matriz do índice de dissecação do relevo proposta por Ross (1994).

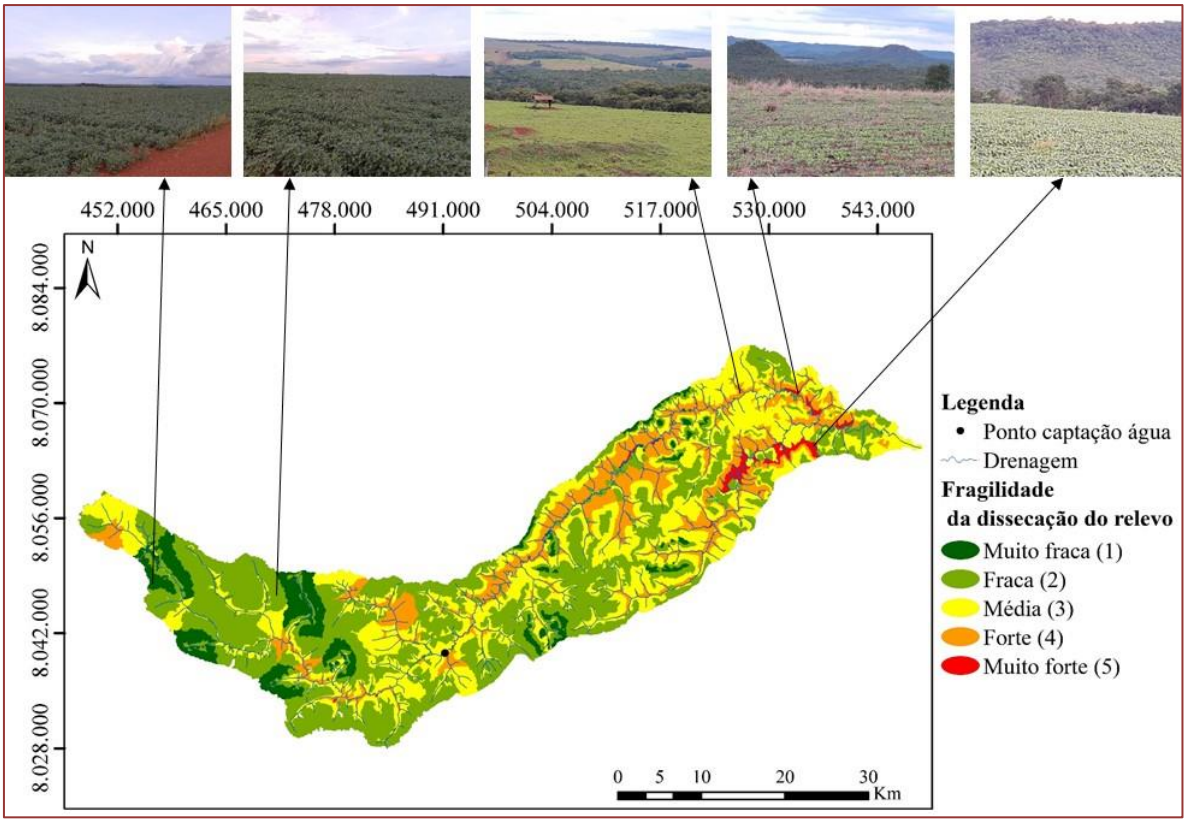
Os resultados da reclassificação da matriz de dissecação do relevo, de acordo com os níveis de fragilidade propostos por Ross (1994), são apresentados na Tabela 5 e na Figura 2. Predomina a fragilidade fraca, representando 41,22% da área, seguida por áreas com fragilidade média (34,58%), forte (15,88%), muito fraca (7,16%) e muito forte (1,16%).

Tabela 5. Área da dissecação do relevo, com respectivo valor da fragilidade atribuído conforme proposta de Ross (1994), da bacia hidrográfica do Rio Verdinho, Savana (Brasil)

Em ha	Em %	Fragilidade	Valor atribuído
11061,00	7,16	Muito fraca	1
63657,37	41,22	Fraca	2
53395,28	34,58	Média	3
24520,23	15,88	Forte	4
1796,31	1,16	Muito forte	5
15.4430,19	100,00	-	-

Fonte: Elaborada por Alves (2019).

Figura 2. Dissecação do relevo da bacia hidrográfica do Rio Verdinho, Savana (Brasil)



Fonte: Elaborado por Alves (2019) no sistema de coordenadas projetadas: Sirgas 2000, UTM e Zona 22S.

As áreas com maior fragilidade em relação à dissecação do relevo são observadas nos vales fluviais, especialmente no trecho médio e inferior da bacia, onde o relevo apresenta características mais côncavas e convexas. Em contraste, as áreas com menor fragilidade predominam no trecho superior, nos chapadões. Destaca-se a presença de áreas com

dissecação do relevo classificadas como fragilidade forte e muito forte a montante do ponto de captação de água para abastecimento público, conforme ilustrado na Figura 2.

Na Tabela 6, são apresentadas as classes de solos com seus respectivos valores de fragilidade, com a espacialização mostrada na Figura 3, e a reclassificação conforme Ross (1994) está representada na Figura 4. A área de estudo é predominantemente composta por Latossolos Vermelhos Distróficos (LVd), que correspondem a 79,46% da área. Em seguida, temos o Nitossolo Vermelho Distrófico (NVd) com 8,86%, o Cambissolo Háplico Distrófico (CXd) com 4,38%, o Gleissolo Háplico Distrófico (GXd) com 3,79%, o Argissolo Vermelho Distrófico (PVd) com 2,77% e o Neossolo Litólico Distrófico (RLd) com 0,72%. Do total, 56,76% dos solos apresentam muito baixa e baixa fragilidade, enquanto 43,24% estão classificados com fragilidade média a muito alta.

Tabela 6. Classes de solos, com respectivo valor da fragilidade atribuído conforme proposta de Ross (1994), da bacia hidrográfica do Rio Verdinho, Savana (Brasil)

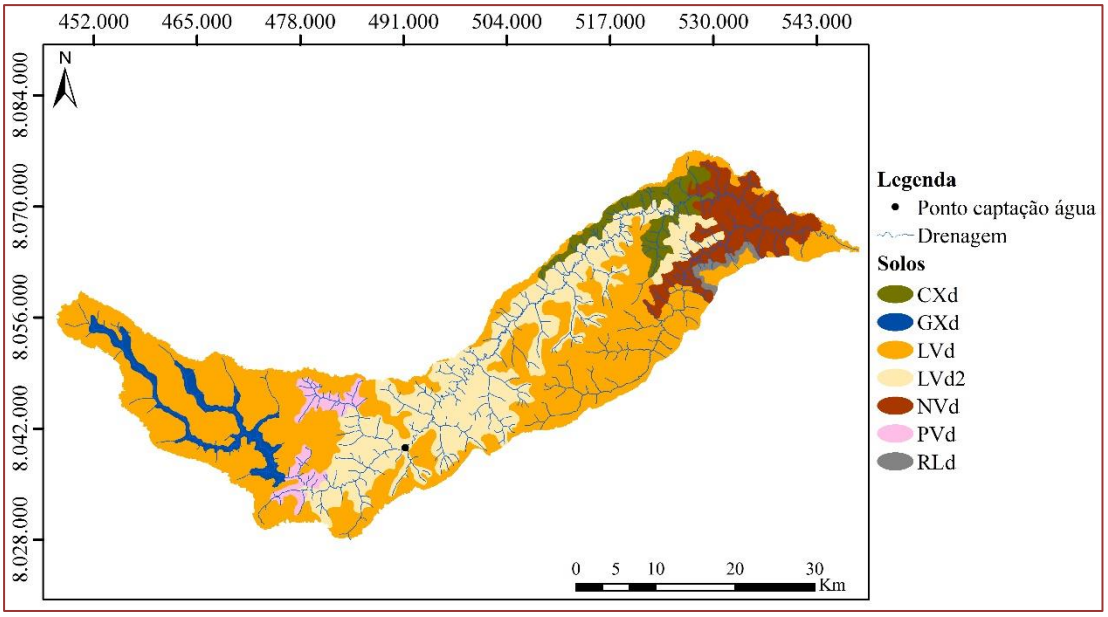
Casse	Em ha	Em %	Fragilidade	Valor atribuído
Latossolo Vermelho Distrófico, textura argilosa ou muito argilosa – LVd	81.806,07	52,97	Muito baixa	1
Gleissolo Háplico Distrófico, textura argilosa – GXd	5.858,21	3,79	Baixa	2
Latossolo Vermelho Distrófico, textura média - LVd2	40.906,37	26,49	Média	3
Nitossolo Vermelho Distrófico, textura argilosa – NVd	13.688,81	8,86	Média	3
Cambissolo Háplico Distrófico, textura média ou média cascalhenta – CXd	6.768,09	4,40	Alta	4
Argissolo Vermelho Distrófico, textura média – PVd	4.283,32	2,77	Alta	4
Neossolo Litólico Distrófico, textura média cascalhenta fase pedregosa – RLd	1.119,32	0,72	Muito alta	5
Total	154.430,19	100,00	-	-

Fonte: dados atualizados e organizados por Alves (2019) conforme Embrapa (2013) a partir do Mapa de Solos da Bacia do Rio Paranaíba gerado pela Universidade Federal de Viçosa (UFV, 2005)/Fundação Rural Minas (2005) e disponibilizado pelo Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás (SIEG, 2017).

Os LVd com textura argilosa são classificados com muito baixa Fragilidade Potencial, conforme Ross (1994). No entanto, de acordo com Sousa e Lobato (2019), os LVd com textura média e teores elevados de areia assemelham-se às Areias Quartzosas, tornando-se muito suscetíveis à erosão e necessitando de práticas de conservação. Assim, a classe de LVd com textura média recebeu um peso de 3, indicando média Fragilidade Potencial.

Os GXd com textura argilosa, principalmente por estarem associados às áreas planas, são classificados como de baixa fragilidade. Já os NVd com textura argilosa são considerados de média Fragilidade Potencial, devido à sua localização em ambientes de relevos mais declivosos ou mais dissecados, o que os torna limitados para uso agrícola e susceptíveis à erosão.

Figura 3. Tipos de solos na bacia hidrográfica do Rio Verdinho, Savana (Brasil)



CXd: Cambissolo Háplico Distrófico; GXd: Gleissolo Háplico Distrófico; LVd2: Latossolo Vermelho Distrófico, textura média; LVd: Latossolo Vermelho Distrófico, textura argilosa ou muito argilosa; NVd: Nitossolo Vermelho Distrófico; PVd: Argissolo Vermelho Distrófico; RLd: Neossolo Litólico Distrófico.

Fonte: Atualizados e organizados por Alves (2019) conforme Embrapa (2013) a partir do Mapa de Solos da Bacia do Rio Paranaíba gerado pela Universidade Federal de Viçosa (UFV, 2005)/Fundação Rural Minas (2005) e disponibilizado pelo Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás (SIEG, 2017).

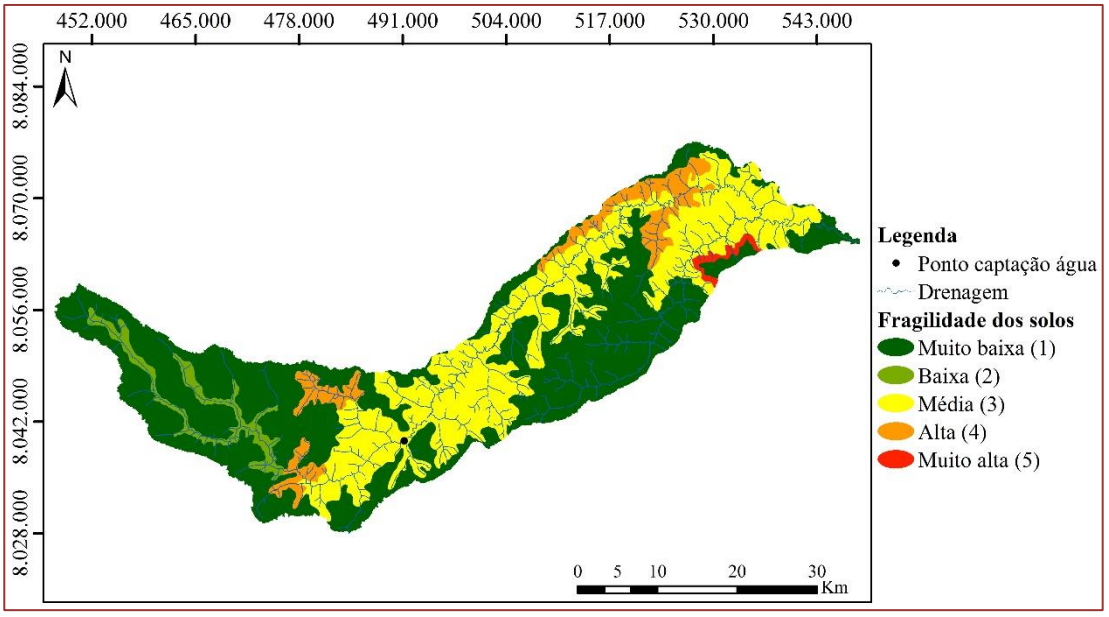
Os CXd com textura média são classificados como de alta Fragilidade Potencial, conforme Ross (1994). Predominantemente, apresentam dissecação do relevo variando de média a alta, além de pequena profundidade e ocorrência de rochas, que são as principais limitações para seu uso.

A classe de PVd com textura média e fragilidade alta ocorre principalmente em áreas de relevo com dissecação variando de média a forte, como ilustrado na Figura 4 e Figura 5.

Os RLd com textura média são classificados por Ross (1994) como de forte e muito forte Fragilidade Potencial. É fundamental que esses solos não sejam utilizados para práticas agrícolas, pois estão sujeitos a fácil degradação, evidenciando a importância de sua destinação para a conservação da flora e fauna.

As classes de solo LVd e PVd, ambas com textura média e classificadas nas categorias de fragilidade média e alta, respectivamente, estão localizadas a montante do ponto de captação de água para abastecimento público da população urbana do município de Rio Verde (GO). Devido à sua alta fragilidade, conforme Ross (1994), o uso do solo classificado como PVd requer manejo adequado, incluindo correção, adubação e adoção de práticas conservacionistas para o controle da erosão, como destacado por Zaroni e Santos (2020).

Figura 4. Grau de fragilidade dos solos na bacia hidrográfica do Rio Verdinho, Savana (Brasil)



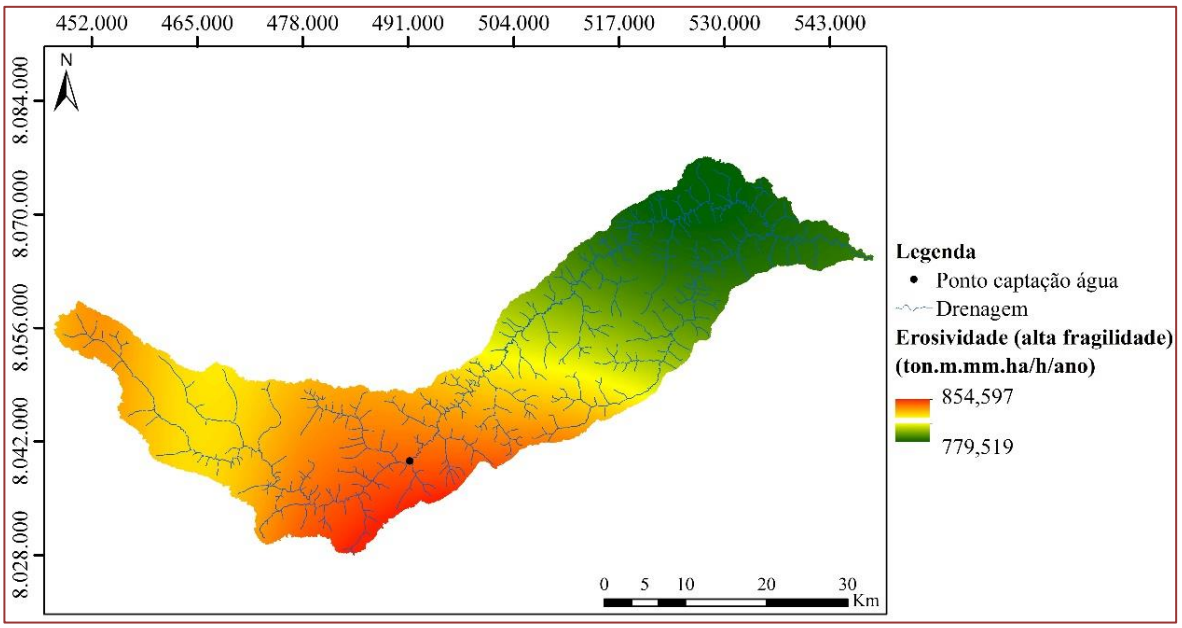
Elaborado no sistema de coordenadas projetadas: Sirgas 2000, UTM e Zona 22S.

Fonte: Elaborado por Alves (2019) a partir do Mapa de Solos da Bacia do Rio Paranaíba gerado pela Universidade Federal de Viçosa (UFV, 2005)/Fundação Rural Minas (2005) e disponibilizado pelo Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás (SIEG, 2017).

A média da precipitação pluviométrica anual para os dados das oito estações utilizadas neste estudo variou de 1.398,03 a 1.675,29 mm. Os meses de junho, julho e agosto foram os mais secos, enquanto de novembro a março foram os mais chuvosos. Esses dados resultaram em uma erosividade que variou de 779,519 a 854,597 ton.m.mm.ha^{-1}.h-1.ano^{-1}, com uma média de 816,01 ton.m.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1}. Esta média é classificada como alta de acordo com a classificação de Carvalho (2008). A erosividade é mais elevada no trecho médio e superior da BH, podendo intensificar os processos erosivos a montante do ponto de captação de água, principalmente nas áreas com dissecação do relevo nas categorias de fragilidade média, forte e muito forte (Figura 2) e com solos nas categorias de fragilidade média e muito alta (Figura 4), impactando negativamente a qualidade hídrica.

Considerando a classificação de Carvalho (2008), valores de erosividade alta na região também foram observados por Braga et al. (2017). No estudo da fragilidade ambiental na BH do reservatório da usina hidroelétrica (UHE) Caçu (GO), Braga et al. (2017) identificaram valores próximos a 810,36 ton.m.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1}. Similarmente, no estudo da fragilidade ambiental da BH do Rio Claro (GO) realizado por Queiroz Junior et al. (2015), a média foi de 810,36 ton.m.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1}, corroborando os resultados encontrados por Braga et al. (2017).

Figura 5. Grau de fragilidade quanto à erosividade na bacia hidrográfica do Rio Verdinho, Sudoeste de Goiás



Fonte: Elaborado por Alves (2019) no sistema de coordenadas projetadas: Sirgas 2000, UTM e Zona 22S.

Os resultados da integração dos aspectos físicos naturais, incluindo dissecação do relevo, solos e erosividade, são apresentados na Tabela 7 e espacializados na Figura 6. Observou-se que:

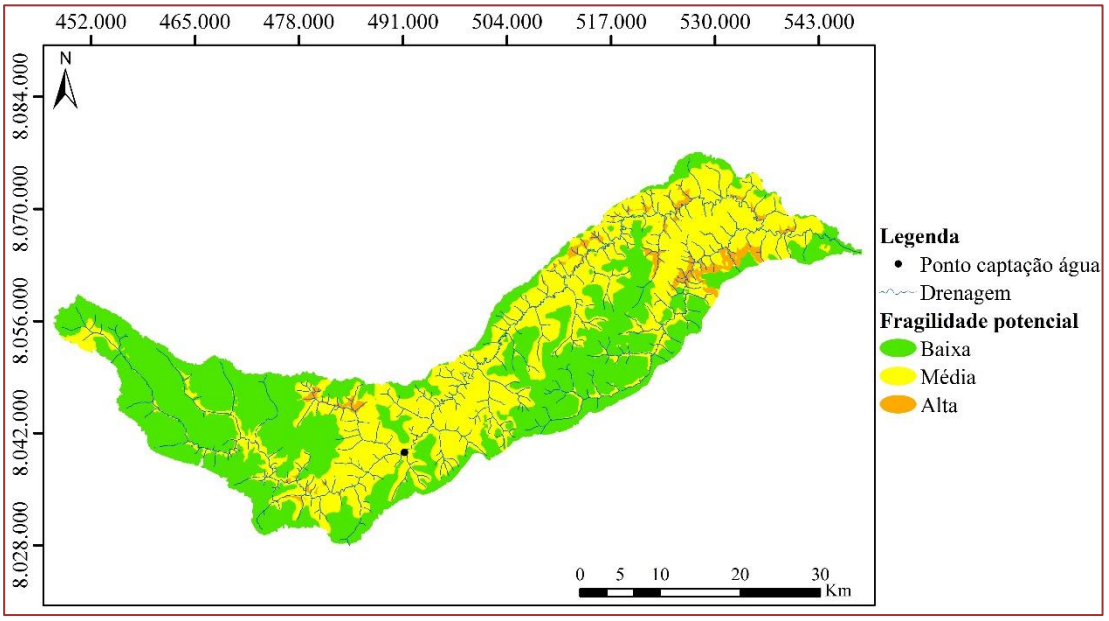
- 51,14% da área de estudo corresponde à categoria de Fragilidade Potencial baixa, associada principalmente às menores dissecações do relevo (muito fraca e fraca), aos solos LVd de textura argilosa e aos GXd;
- 45,82% da área se enquadra na categoria média de fragilidade, relacionada à dissecação do relevo de média a forte, e aos solos LVd2, CXd e NVd;
- 3,04% da área está na categoria alta de fragilidade, estando relacionada com a dissecação do relevo muito forte e com os solos PVd, RLd, NVd, CXd, além de apresentar alta erosividade.

Tabela 7. Classes de Fragilidade Potencial da bacia hidrográfica do Rio Verdinho, Savana (Brasil)

Fragilidade	Potencial	
	Em ha	Em %
Muito baixa	-	-
Baixa	78.980,00	51,14
Média	70.760,09	45,82
Alta	4.690,10	3,04
Muito alta	-	-
Total	154.430,19	100,00

Fonte: Elaborada por Alves (2019).

Figura 6. Espacialização da Fragilidade Potencial da bacia hidrográfica do Rio Verdinho, Savana (Brasil)



Fonte: Elaborado por Alves (2019) no sistema de coordenadas projetadas: Sirgas 2000, UTM e Zona 22S.

Não foram observadas as categorias de Fragilidade Potencial muito baixa e muito alta devido à classificação de erosividade como alta em toda a área de estudo. Isso significa que não foi identificada a categoria de erosividade muito baixa, que, em conjunto com os solos argilosos e a classe de dissecação do relevo muito baixa, resultaria na Fragilidade Potencial muito baixa. Da mesma forma, a categoria de erosividade muito alta, que combinada com as categorias de solos RLd e dissecação do relevo muito forte, levaria à formação da Fragilidade Potencial muito alta, também não foi observada.

Ao analisar a área de contribuição do ponto de captação de água para abastecimento público, observa-se uma predominância da Fragilidade Potencial baixa, seguida por fragilidade média e alta, conforme ilustrado na Figura 7. Ressalta-se que a Fragilidade Potencial, em parte, não é favorável à preservação da área de contribuição do ponto de captação de água em implementação para abastecimento da população urbana de Rio Verde – GO na BH do Rio Verdinho. Isso ocorre principalmente devido ao relevo acentuado e aos tipos de solos com maior fragilidade.

4. CONCLUSÃO

A BH do Rio Verdinho, localizada na Savana brasileira, possui predominância de dissecação do relevo e solos de fragilidade baixa a média, indicando aptidão para produção agropecuária com técnicas modernas de manejo e conservação do solo. No entanto, áreas com maior grau de dissecação do relevo, solos de fragilidade média a alta e erosividade elevada apontam a necessidade de planejamento ambiental e agronômico adequado. Este deve incluir práticas de manejo conservacionistas e cumprimento da legislação florestal vigente para minimizar impactos ambientais negativos e recuperar áreas degradadas.

Apesar das características favoráveis à agropecuária, o manejo inadequado, como a mecanização agrícola intensiva e o sobrepastoreio, torna a região suscetível à erosão e outros impactos ambientais degradantes, reforçando a necessidade de práticas mais sustentáveis para a conservação da unidade hidrográfica, que é crucial para um desenvolvimento econômico, social e ambientalmente justo para a região. A estratégia de conservação é particularmente eficaz em regiões altamente ameaçadas que são inadequadamente protegidas por terras públicas, como é o caso do Cerrado brasileiro.

Com base na análise dos resultados, recomenda-se, principalmente a montante de onde está sendo implementado o projeto para captação de água, que as áreas com Fragilidade Potencial alta sejam preservadas. Além disso, nas áreas de baixa e média Fragilidade Potencial, sugere-se que o uso e manejo da terra sejam associados às modernas técnicas de conservação do solo. Outra recomendação importante é que o ponto de captação de água seja localizado em uma área com ausência ou baixa Fragilidade Potencial.

Finalmente, a aplicação do modelo de Ross (1994) ambientado em um Sistema de Informação Geográfica (SIG) se apresentou eficaz para identificar as áreas de maior e menor fragilidade ambiental da BH do Rio Verdinho. Reforça-se ainda que é essencial a continuidade de monitoramento sistemático e sinérgico dessas áreas, especialmente as de maior fragilidade, assim como a fiscalização de impactos ambientais por parte de programas e projetos de caráter governamental, para que seja possível a orientação de medidas alinhadas com um desenvolvimento sustentável legítimo.

REFERÊNCIAS

[1] AB'SÁBER, A. N. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. São Paulo: Ateliê editorial, 2003.

[2] AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Drenagens da Base Cartográfica Vetorial Digital**, geração de 22 de julho de 2006.

[3] _____. HidroWeb. **Série histórica de precipitação.** Disponível em: http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/apresentacao.jsf. Acesso em: 25 fev. 2018.

[4] ALVES, W. S. et al. Análise da Fragilidade Ambiental na bacia hidrográfica do ribeirão Douradinho, Sudoeste de Goiás. **Geoambiente On-Line**, n. 29, p. 164-183, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.5216/revgeoamb.v0i29.47726. Acesso em: 25 maio 2018.

[5] ALVES, W. S. Geotecnologias aplicadas em estudos hidrogeográficos na bacia do Rio Verdinho – Sudoeste de Goiás – Brasil. 2019. 212 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Goiás, Jataí, 2019.

[6] AMARAL, R.; ROSS, J. L. S. As unidades ecodinâmicas na análise da fragilidade ambiental do Parque Estadual do Morro do Diabo e entorno, Teodoro Sampaio/SP. **GEOUSP Espaço e Tempo (Online)**, v. 13, n. 2, p. 59-78, 2009. DOI: https://doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geousp.2009.74128.

[7] ANJINHO, P. da S. et al. Environmental fragility analysis in reservoir drainage basin land use planning: A Brazilian basin case study. **Land Use Policy**, v. 100, p. 104946, 2021, ISSN 0264-8377. DOI: https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104946.

[8] BANCO DE DADOS METEOROLÓGICOS PARA ENSINO E PESQUISA - BDMEP. **Dados de precipitação de janeiro de 1996 a dezembro de 2017**. Disponível em: http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/. Acesso em: 08 fev. 2018.

[9] BEDOYA, S. B. et al. Forests and urban green areas as tools to address the challenges of sustainability in Latin American urban socio-ecological systems. **Applied Geography**, v. 125, p. 102343, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2020.102343.

[10] BERTONI, J. C; LOMBARDI NETO, J. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone, 2014.

[11] BRAGA, C. C. et al. Mapeamento da fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do reservatório da UHE Caçu – Goiás. **Ciência e Natura**, v. 39, n. 4, p. 81 – 98, 2017. Disponível em: http://dx.doi.org/10.5902/2179460X26978. Acesso em: 12 jul. 2019.

[12] BRASIL. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. **Plano de ação para prevenção e controle do desmatamento e das queimadas no bioma cerrado (PPCerrado)**: 4ª fase (2023 a 2027) [recurso eletrônico] Brasília: MMA, 2023. 97 p. : il. ; color. ISBN 978-65-88265-47-5 (on-line). Disponível em: https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/combate-ao-desmatamento/ppcerrado/ppcerrado_4fase.pdf. Acesso em 25 abr. 2024.

[13] CABRAL, J. B. P. et al. Mapeamento da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Doce (GO), utilizando tecnicas de geoprocessamento. **GeoFocus. International Review of Geographical Information Science and Technology**, *[S. l.]*, n. 11, p. 51–69, 2014. Disponível em: https://www.geofocus.org/index.php/geofocus/article/view/212. Acesso em: 03 nov. 2019.

[14] CAMPOS, J. A.; SILVA, D. D. da; MOREIRA, M. C.; MENEZES FILHO, F. M. de. Environmental fragility and land use capacity as instruments of environmental planning, Caratinga River basin, Brazil. Environmental Earth Sciences, v.80, n.264, p.1-13, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s12665-021-09553-2. Acesso em: 29 abr. 2024.

[15] CARVALHO N. O. **Hidrossedimentologia prática**. 2. ed., rev., atual. e ampliada. Rio de Janeiro: Interciência, 2008.

[16] COSTA, C. W. et al. Potential for aquifer contamination of anthropogenic activity in the recharge area of the Guarani Aquifer System, southeast of Brazil. **Groundwater for Sustainable Development**, v. 8, p. 10-23, 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.gsd.2018.08.007.

[17] CRUZ, B. B. et al. Environmental fragility framework for water supply systems: a case study in the Paulista Macro Metropolis area (SE Brazil). **Environmental Earth Sciences**, v. 76, n. 441, 2017. DOI: https://doi.org/10.1007/s12665-017-6778-3.

[18] CUNHA, J. E. F.; BRAVO, J. V. M. Effects of environmental protection policies on fragile areas of a watershed occupied by agriculture in the Brazilian Cerrado. Journal of Environmental Management, v.319, n.1, 115695, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115695. Acesso em: 29 abr. 2024.

[19] EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação, 2013.

[20] ESRI. ArcGIS Desktop: Release 10.6.1®. 2019. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute.

[21] FUNDAÇÃO RURAL MINAS - RURALMINAS. Mapa de Solos do Plano Diretor da Bacia do Rio Paranaíba, na escala 1:250.000, geração 01 de março de 2005.

[22] _____. Superintendência de Geologia e Mineração (SGM). **Modelagem, alimentação e edição do Mapa de Solos do Plano Diretor da Bacia do Rio Paranaíba**, na escala 1:250.000, geração 01 de março de 2005.

[23] _____. Secretaria Estadual de Indústria e Comércio (SIC). **Modelagem, alimentação e edição do Mapa de Solos do Plano Diretor da Bacia do Rio Paranaíba**, na escala 1:250.000, geração 01 de março de 2005.

[24] GIRI, S. Water quality prospective in twenty first century: status of water quality in major river basins, contemporary strategies and impediments: a review. Enrironmental pollution, v.271, n.15, 116332, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.116332. Acesso em: 29 abr. 2024.

[25] GUIMARÃES, F. S. et al. Uma proposta para automatização do índice de dissecação do relevo. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 18, n. 1, p.155-167, 2017. Disponível em: http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v18i1.1163. Acesso em: 28 out. 2018.

[26] HERCULANO, R. M. C. S.; SOUZA, J. C. de. Fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Uru (Goiás): comparação entre modelos. Estudos geográficos: revista eletrônica de geografia, v.20, n.3, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.5016/estgeo.v20i3.16799. Acesso em: 30 abr. 2024

[27] INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Plataforma TerraBrasilis**. Disponível em: https://terrabrasilis.dpi.inpe.br/. Acesso em 24 abr. 2024.

[28] LI, N.; WANG, J.; WANG, H.; FU, B.; CHEN, J.; HE, W. Impacts of land use change on ecosystem service value in Lijiang River Basin, China. Environmental Science and Pollution Research, v.28, n.1, p.46100–46115, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s11356-020-12190-0. Acesso em: 29 abr. 2024.

[29] LI, P.; LI, D.; SUN, X.; CHU, Z.; XIA, T.; ZHENG, B. Application of ecological restoration technologies for the improvement of biodiversity and ecosystem in the river. Water, v.14, n.9, n.1402, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.3390/w14091402. Acesso em: 29 abr. 2024.

[30] MAPBIOMAS. **Destaques Agropecuária no Brasil (1985-2022)**. São Paulo: MapBiomas, 2023. 36p. Disponível em: https://brasil.mapbiomas.org/wp-content/uploads/sites/4/2023/10/FACT_MapBiomas_Agropecuaria_04.10_v2-1.pdf. Acesso em: 25 abr. 2024.

[31] MONTEIRO, F. das N.; FALCÃO, K. dos S. Fragilidade Ambiental Associada a Mudança do Uso e Ocupação do Solo. **Revista Geoaraguaia**, *[S. l.]*, v. 12, n. 2, p. 16–30, 2022. Disponível em: https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/geo/article/view/12755. Acesso em: 24 abr. 2024.

[32] MOREIRA, M. L. O.; MORETON, L. C.; ARAÚJO, V. A. D.; LACERDA FILHO, J. V. D.; COSTA, H. F. D. Geologia do estado de Goiás e Distrito Federal. CPRM; SIC-FUNMINERAL, 2008.

[33] DE MARCO JR, P. et al. The value of private properties for the conservation of biodiversity in the Brazilian Cerrado. Science, v. 380, n. 6642, p. 298-301, 2023. DOI: 10.1126/science.abq7768. Disponível em: https://www.science.org/doi/10.1126/science.abq7768. Acesso em: 26 abr. 2024.

[34] NASCIMENTO, H. R.; MORAIS, F. de. FRAGILIDADE AMBIENTAL EMERGENTE DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SOBRADO, SUDESTE DO TOCANTINS. **Revista Tocantinense de Geografia**, *[S. l.]*, v. 12, n. 27, p. 141–160, 2023. DOI: 10.20873/rtg.v12i27.15380. Disponível em: https://sistemas.uft.edu.br/periodicos/index.php/geografia/article/view/15380. Acesso em: 26 abr. 2024.

[35] NASCIMENTO, M. A. L. do. Geomorfologia do estado de Goiás. Boletim Goiano de Geografia, v. 12, n. 1, p. 01-22, 1992.

[36] ORTEGA, M. et al. Land-use and spatial resilience changes in the Spanish olive socio-ecological landscape. **Applied geography**, v. 117, p. 102171, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2020.102171.

[37] PEREIRA, L. C. et al. Effects of Cerrado restoration on seasonal soil hydrological properties and insights on impacts of deforestation and climate change scenarios. Frontiers in Forests and Global Change, v. 5, p. 882551, 2022. Disponível em: https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/ffgc.2022.882551/full. Acesso em 26 abr. 2024.

[38] QUEIROZ JUNIOR, V. S. et al. Uso de geotecnologias na caracterização da fragilidade ambiental da Bacia da UHE Foz do Rio Claro (GO). **GeoFocus**, Madrid, v. 15, n. 15, p. 193-212, 2015. Disponível em: http://www.geofocus.org/index.php/geofocus/article/view/413. Acesso em 14 out. 2018.

[39] ROCHA, M. I. S. et al. Caracterização Ambiental E Dinâmica De Uso E Ocupação Do Cerrado. *In*: SOUZA, J. C. M & AQUINO, P. T. de. (Orgs.). **Análises ambientais do Cerrado**. Anápolis-GO: Editora UEG, 2023. p. 125-145. ISBN 978-65-88502-34-1 (E-book). DOI: https://doi.org/10.1016/j.gsd.2018.08.007. Disponível em: https://www.ueg.br/editora/referencia/12630. Acesso em: 25 abr. 2024.

[40] ROSS, J.L.S. O registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do relevo. **Revista do Departamento de Geografia**, n. 6, p. 17-30, 1992.
ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 8, p. 63-74, 1994. Disponível em: https://doi.org/10.7154/RDG.1994.0008.0006. Acesso em: 14 out. 2018.

[41] ROSS, J. L. S. Landforms and environmental planning: potentialities and fragilities. **Revista do Departamento de Geografia**, p. 38-51, 2012. Disponível em: https://doi.org/10.7154/RDG.2012.0112.0003. Acesso em: 08 out. 2020.

[42] SANTOS, H. G. et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa, 2013.

[43] SANTOS, J. O. Relações entre fragilidade ambiental e vulnerabilidade social na susceptibilidade aos riscos. **Mercator (Fortaleza)**, v. 14, p. 75-90, 2015. Disponível em: http://dx.doi.org/10.4215/RM2015.1402.0005. Acesso em: 14 out. 2018.

[44] DA SILVA, E. M..; BACANI, V. M. Análise Da Fragilidade Ambiental Na Bacia Hidrográfica Do Ribeirão Jatobá-MS. Geofronter, [S. l.], v. 9, n. 1, 2023. DOI: 10.61389/geofronter.v9i1.7537. Disponível em: https://periodicosonline.uems.br/index.php/GEOF/article/view/7537. Acesso em: 26 abr. 2024.

[45] SINSHAW, B. G.; BELETE, A. M.; TEFERA, A. K.; DESSIE, A. B.; BIZUNEH, B. B.; ALEM, H. T.; ATANAW, S. B.; ESHETE, D. G.; WUBETU, T. G.; ATINKUT, H. B.; MOGES, M. A. Prioritization of potential soil erosion susceptibility region using fuzzy logic and analytical hierarchy process, upper Blue Nile Basin, Ethiopia. Water-Energy Nexus, v.4, n.1, p.10-24, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.wen.2021.01.001. Acesso em: 29 abr. 2024.

[46] SISTEMA ESTADUAL DE GEOINFORMAÇÃO DE GOIÁS – SIEG. **Downloads/SIG – *Shapefiles***. Disponível em: www.Sieg.go.gov.br. Acesso em: 30 ago. 2017.

[47] SOARES, I. G.; OLIVEIRA, R. C. de. Uma discussão teórico-metodológica sobre fragilidade ambiental. In: Anais do evento em comemoração aos 20 anos do Programa de Pós-graduação em Geografia (IG-UNICAMP), v. 1, n. 1, 2023, Campinas. Anais [...]. Campinas: IG-UNICAMP, 2023. p. 150-165. Disponível em: https://ocs.ige.unicamp.br/ojs/20anosppgg/article/view/3856. Acesso em: 26 abr. 2024.

[48] SOARES, C. B. R.; MARTINS, A. P. Análise empírica da fragilidade ambiental na microrregião Rio Vermelho (GO). Geosul, v. 36, n. 80, p.68-94, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.5007/2177-5230.2021.e74266. Acesso em: 30 abr. 2024.

[49] SOARES, I. G.; OLIVEIRA, R. C. de. UMA DISCUSSÃO TEÓRICO-METODOLÓGICA SOBRE FRAGILIDADE AMBIENTAL. *In*: ANAIS DO EVENTO EM COMEMORAÇÃO AOS 20 ANOS DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA (IG-UNICAMP), v. 1, n. 1, 2023, Campinas. **Anais** [...]. Campinas: IG-UNICAMP, 2023. p. 150-165. Disponível em: https://ocs.ige.unicamp.br/ojs/20anosppgg/article/view/3856. Acesso em: 26 abr. 2024.

[50] SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. **Latossolos**. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia16/AG01/arvore/AG01_96_10112005101956.html. Acesso em: 23 maio 2019.

[51] SPRÖL, C.; ROSS, J. L. S. Análise Comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos. **GEOUSP Espaço e Tempo (Online)**, *[S. l.]*, v. 8, n. 1, p. 39-49, 2004. DOI: 10.11606/issn.2179-0892.geousp.2004.123868. Disponível em: http://www.revistas.usp.br/geousp/article/view/123868. Acesso em: 9 out. 2020.

[52] THOMPSON, J. R.; GOSLING, S. N.; ZAHERPOUR, G. J.; LAIZÉ, C. L. R. Increasing Risk of ecological change to major rivers of the world with global warming. Earth`s Future, v.9, n.11, e2021EF002048, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1029/2021EF002048. Acesso em: 29 abr. 2021.

[53] TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE, Diretoria Técnica, SUPREM, 1977.

[54] UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA (UFV). **Mapa de Solos do Plano Diretor da Bacia do Rio Paranaíba**, na escala 1:250.000, geração 01 de março de 2005.

[55] UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY – *USGS*. **EarthExplorer**. Disponível em: https://earthexplorer.usgs.gov/. Acesso em: 10 Jun. 2017.

[56] VON BERTALANFFY, L. General system theory. New York, George Brazilier, 1968. p. 38.

[57] WISCHMEIER, W. H. E.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses:** a guide to conservation planning. Washington: Department of Agriculture, Science and Education Administration, 1978.

[58] ZARONI, M. J.; SANTOS, H. G. **Argissolos**. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Argissolos. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONTAG01_7_2212200611538.html. Acesso em: 11 maio 2019.

Capítulo 12

Cálculo de volume em floresta de eucalipto no município de Botucatu/SP por sensoriamento remoto

Bruna Soares Xavier de Barros
Zacarias Xavier de Barros
Ronaldo Alberto Pollo

Resumo: Neste estudo se utilizou imagens de satélites multiespectrais como fonte de dados para determinação de parâmetro estrutural de uma floresta de eucalipto. Baseando-se em procedimentos utilizados em outras áreas de florestas de monocultura, através de uma metodologia que otimiza a monitoração e controle de um povoamento. A utilização dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) já é realidade presente em vários setores das atividades e necessidades humanas, devido principalmente à capacidade de armazenamento de dados e a velocidade na apresentação deste nas tomadas de decisões. Neste contexto, a avaliação de áreas de cultura de eucalipto, por meio de imagens aéreas, pode tornar muito rápida e acertada as tomadas de decisões pelas áreas técnicas ligadas ao cultivo e também pela área econômica. Este trabalho teve como objetivo verificar a possibilidade de calcular o volume de uma área de povoamento de eucalipto na região do município de Botucatu/SP Brasil, utilizando-se imagens satélite LANDSAT, ferramenta SIG e técnicas de análise estatística. Após a análise dos modelos com melhor ajuste estatístico obtido através da regressão série temporal, concluiu-se que, para o mesmo tipo de cultura, o emprego de dados orbitais associados aos de campo foi eficiente.

Palavras-chave: Eucalipto, inventário florestal, volume, análise de imagens, sistemas de informação geográfica.

1. INTRODUÇÃO

O município de Botucatu e região possuem terras com aptidão para o bom desenvolvimento do eucalipto, uma vez que, apresentam grandes áreas de solo tipo arenoso, com profundidade favorável ao desenvolvimento do sistema radicular desta cultura.

A avaliação do reflorestamento, com base em inventários de áreas e também do volume de madeira de uma região de interesse, torna-se importante ferramenta para o planejamento de novos investimentos na expansão ou mesmo na melhoria dos tratos culturais de uma área pré- existente.

Segundo Cunha (2004) o volume é a variável mais utilizada no diagnóstico do potencial madeireiro de uma floresta, sendo por isso um parâmetro muito importante na dendrometria. Além de ser de uso corrente no manejo florestal, é também o mais utilizado na comercialização e na indústria. Calculando o volume de uma árvore pode- se chegar à determinação do volume de uma floresta.

A avaliação de áreas e volumes de florestas implantadas com eucalipto, por meio de imagens aéreas, orbitais e não orbitais, torna muito rápida e acertada as tomadas de decisões pelos departamentos ligadas ao cultivo e também pela área econômica da empresa para definir novos investimentos em determinados setores ou até mesmo determinados talhões dentro de uma grande área.

Segundo Silva (2001) a função primordial do processamento digital de imagens de sensoriamento remoto é a de fornecer ferramentas para facilitar a identificação e a extração da informação contida nas imagens, para posterior interpretação. Nesse sentido, sistemas computacionais são utilizados para atividades interativas de análise e manipulação das imagens brutas, produzindo assim imagens contendo informações específicas.

Para Moreira (2005) cada alvo (asfalto, vegetação, água, entre outros) tem comportamento espectral diferente na mesma condição ambiental. Os corpos de água apresentam baixa reflectância, pois absorve toda a radiação acima de 750nm. Segundo Tucker, (1979), a vegetação é caracterizada por uma intensa absorção devido à clorofila na região do vermelho (0,58 a 0,68 μm) e por uma intensa reflexão na faixa do infravermelho próximo (0,76 a 1,35 μm) causada pela estrutura celular das folhas.

Segundo Berra *et al*., (2012), os índices NDVI e SR mostraram-se como bons estimadores de volume de madeira e que existe alta correlação positiva entre volume de madeira e os valores de NDVI e SR para plantios de eucaliptos na forma de povoamento contínuo no Estado do Rio Grande do Sul.

A utilização dos Sistemas de Informação Geográfica (SIGs), já é realidade presente em vários setores, devido principalmente a capacidade de armazenamento de dados e a velocidade na apresentação deste nas tomadas de decisões. O emprego dos SIG para o estudo da ocupação do solo tornou-se evidente, principalmente pelo rápido fornecimento de resultados (Matias 2001).

Segundo Berra *et al.,* (2012) modelos relacionando respostas espectrais com parâmetros biofísicos visam a estimativa de variáveis, tais como volume de madeira, sem a necessidade de avaliações constantes em campo. Este trabalho tem como objetivo verificar a possibilidade de determinar volume de madeira, através da avaliação de uma área de plantação de eucalipto, utilizando-se imagens satélite LANDSAT e ferramenta SIG,

na região de Botucatu/SP.

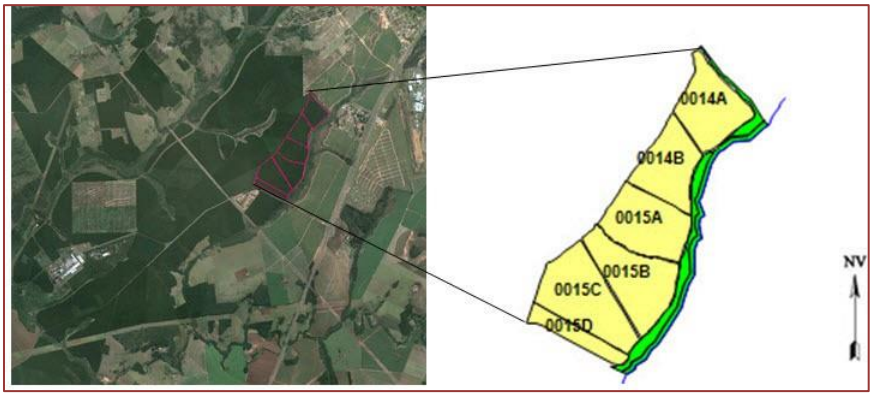
2. MATERIAL E MÉTODOS

As áreas estudadas estão situadas entre as coordenadas 756051m - 758915m e 7437244m - 7461880m. A Fazenda Pinheiro com altitude de 865m e a Fazenda Cascata com 650 m localizadas no reverso da "Cuesta" e depressão periférica, município de Botucatu/SP e de Itatinga/SP, respectivamente, com relevo plano e suave ondulado e clima tipo Cfa segundo Köpen.

Para este estudo utilizaram-se imagens digitais Landsat 5/TM adquiridas junto ao U.S. Geological Survey / Earth Resources Observation & Science Center (EROS), com as bandas 3, 4 e 5 com resolução de 30 m para os de 2007, 2008, 2009 e 2010.

Para complementar o estudo, utilizaram-se dados de levantamentos de campo de seis parcelas da Fazenda Pinheiros, Figura 1, e dados de vinte e sete parcelas pertencentes à Fazenda Cascata, Figura 2. Vale salientar que estas parcelas são florestadas por Eucalyptus grandis com idades de 3,5 anos em 2007 e 6,5 anos em 2010.

Figura 1 - Parcelas de reflorestamento da Fazenda Pinheiros



O inventário florestal de campo de cada fazenda, referente aos anos de 2007, 2008, 2009 e 2010, foram cedidos pela empresa Duratex S/A em 2012, com dados das parcelas, como por exemplo: espaçamento, área, idade na medição, data da medição, altura, número de árvores por hectare, fustes por hectare, entre outros.

Os programas de computador utilizados foram: PCI *Geomatics*, versão 9.1 (*Geo-intelligence Solutions,* 2003); o *Microsoft Office Excel* 2007 (Microsoft, 2007); Idrisi Kilimanjaro, versão 14.01 (Clark *Labs*, 2003); ArcGis 10 *Desktop* (ESRI, 2010) e R, versão 3.0.0 (*The R Foundation for Statistical Computing,* 2013).

Iniciado o tratamento dos dados, as imagens de satélite e as tabelas com dados das observações de campo foram processadas no intuito de gerar as amostras que compuseram o ajustamento dos modelos de regressão, as quais posteriormente foram analisadas detalhadamente.

Figura 2 - Parcelas de reflorestamento da Fazenda Cascata

Para a etapa de Processamento e medição de características das imagens de interesse e do programa PCI Geomatics, fez-se a importação da imagem através do item "import PCIDSK", no qual se selecionou a importação apenas de uma banda, no caso a banda cinco. Após salvar este procedimento, fez-se a adição da banda 4 através do item "transfer layer" e o mesmo para a banda 3.

Após a combinação das bandas para o ano de 2007, fez-se o mesmo procedimento para os anos seguintes: 2008, 2009 e 2010. Para facilitar a visualização da área de estudo efetuou-se o corte da imagem em torno da área de interesse através do comando "Clipping / Subsetting", alterando o nome do arquivo de saída.

O objetivo de tratar a imagem no PCI Geomatics foi calcular a reflectância, que é a razão entre fluxo radiante e incidente, segundo Luiz et al., (2003) e o NDVI da imagem a fim de promover a melhor caracterização das formações florestais da área de estudo. Procedeu-se então a conversão dos números digitais para reflectância, utilizando-se do item "raster calculator", para a determinação do índice de vegetação NDVI, que é dado pela Equação, NDVI = IP - V / V + IP, onde: IP - V = infravermelho próximo - vermelho e V + IP = vermelho + infravermelho próximo, conforme (Kriegler *et al*., 1969) e (Rouse *et al*., 1973).

No programa Microsoft Excel, para cada ano (2007, 2008, 2009 e 2010) tomou-se nota dos números digitais de cada banda de cada parcela em estudo pertencentes à Fazenda Pinheiro, obtidos na etapa anterior pelo PCI Geomatics. Estes números são do sistema RGB de cores onde cada cor é definida pela quantidade de vermelho, verde e azul que a compõem, onde o número zero indica ausência de intensidade e o número 255 indica intensidade máxima (Gonzalez & Woods, 2000).

Vale salientar que a fórmula adotada para o cálculo de volume de madeira por unidade de área foi V (m^3/ha) = [((DAP^2/4 . π) . H) . f] citada em (Thaines *et al*., 2010).

O Idrisi Kilimanjaro foi utilizado visando relacionar os dados de campo com os dados oriundos das imagens geradas, efetuaram-se análises de regressão múltipla pelo método Stepwise, podendo-se, assim, determinar a variável ou variáveis independentes que melhor explicassem a variação de cada variável dependente. Ressalta-se que, o volume é considerado variável dependente e os valores digitais de reflectância (REF) e o índice de vegetação (NDVI), correspondentes às unidades amostrais, foram consideradas variáveis

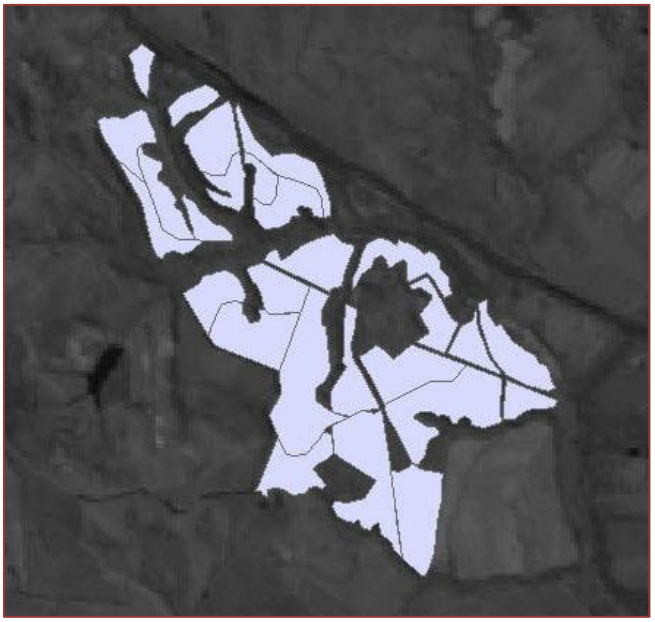
independentes, resultando na equação padrão y = a.NDVI + b.REF + c (Maciel *et al*., 2009).

Os dados da Fazenda Cascata foram inseridos no Excel e inicialmente verificaram-se os valores de volume encontrados pelo mesmo método utilizado na Fazenda Pinheiro, através da fórmula já citada anteriormente. Em seguida, aplicou-se a equação de regressão encontrada no Idrisi referente aos dados da outra área de estudo, tendo assim um meio de verificação do método.

Para a próxima etapa, também como meio de verificação, com os dados do inventário florestal da Fazenda Cascata e utilizando o Idrisi Kilimanjaro, fizeram-se os cálculos de NDVI e reflectância fazendo uso das imagens de satélite, com destaque para o utilitário "VegIndex" para o cálculo do NDVI. O objetivo desta etapa foi encontrar a equação de regressão para o parâmetro biométrico (volume) de cada ano da fazenda agora em estudo.

No ArcGis, o primeiro passo foi georreferenciar a Fazenda Cascata, sabendo-se que quanto maior o número de pontos coletados, mais preciso será o georreferenciamento. Na seqüência, efetuou-se a digitalização dos limites das áreas correspondentes as quadras em estudo, gerando assim geometrias do tipo polígono, conforme a Figura 3. Em seguida, converteu-se os polígonos vetoriais para uma estrutura raster. Acrescentou-se, em arquivo tif, as duas imagens anteriormente processadas no Idrisi referentes à reflectância e ao NDVI. Fez-se a média dos pontos em cada parcela para NDVI e reflectância, visando encontrar os valores das coordenadas x e y médio através do centróide de cada parcela, reunindo assim todos os valores em uma única tabela, inclusive os valores de volume.

Figura 3 - Parcelas da Fazenda Cascata sobrepostas à imagem de satélite no ArcGis



Pôde-se distinguir efetivamente duas etapas do trabalho quando optou-se pela regressão série temporal como alternativa de atender as dificuldades encontradas nas informações analisadas da regressão época a época, ou seja, para obter um componente temporal e alcançar uma tendência estatística, modelos por regressão múltipla foram determinados ao adicionar o valor médio de cada parcela ano a ano ao longo do tempo.

A linguagem de programação e cálculo estatístico denominado R foi a ferramenta utilizada para criação e manipulação de gráficos com a finalidade de executar a regressão múltipla para análise estatística conjunta dos anos considerados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Tabela 1 e 2, apresentam os valores, obtidos em campo, utilizados para os cálculos de volume, onde HD (altura predominante em metros); HT (altura total em metro) e q (diâmetro médio em centímetros), referentes ao ano de 2010 das Fazendas Pinheiro e Cascata, respectivamente.

Tabela 1 - Dados de campo das quadras da Fazenda Pinheiro em 2010

Quadra	Espaçamento (m)	Idade (anos)	HD (m)	HT (m)	q (cm)	Árvores (n/ha)
0015C	3,00 X 1,70	6,4	25,8	21,5	14,2	1.528
0014B	3,00 X 1,70	6,6	25,4	20,9	13,4	1.690
0014A	3,00 X 1,70	6,7	25,8	22,1	15,0	1.296
0015D	3,00 X 1,70	6,4	25,5	21,2	13,9	1.759
0015B	3,00 X 1,70	6,4	25,1	21,2	13,2	1.852

Tabela 2 - Dados de campo das quadras da Fazenda Cascata em 2010

Quadra	Espaçamento (m)	Idade (anos)	HD (m)	HT (m)	q (cm)	Árvores (n/ha)
0002	3,00 X 2,00	6,18	32,00	24,85	16,68	1.574,07
0003	3,00 X 2,00	6,18	31,75	25,07	16,64	1.435,19
0004	4,00 X 1,50	6,13	29,65	24,18	15,69	1.527,78
0007	4,00 X 1,50	6,13	33,25	26,73	17,45	1.481,48
0009	4,00 X 1,50	6,17	32,93	26,42	16,51	1.412,04
0013	4,00 X 1,50	6,12	33,25	26,83	17,21	1.342,60
0015	4,00 X 1,50	6,14	31,65	24,07	15,47	1.574,07
0016	4,00 X 1,50	6,14	31,71	24,57	15,64	1.481,48
0017	3,75 X 1,80	5,20	26,52	22,11	15,54	987,65
0018	3,75 X 1,80	4,95	29,45	24,13	17,11	1.049,38
0019	4,00 X 1,50	6,05	32,40	24,90	15,56	1.435,19
0021	4,00 X 1,50	6,10	32,06	25,41	15,96	1.435,19
0022	4,00 X 1,50	5,88	31,15	25,29	16,41	1.319,45
0023	4,00 X 1,50	6,06	32,25	26,26	16,37	1.111,11
0024	4,00 X 1,50	6,12	29,60	24,36	16,05	1.435,19
0025	4,00 X 1,50	6,12	31,45	26,20	16,73	1.342,60
0028	4,00 X 1,50	5,98	32,35	25,62	16,33	1.435,19
0029	4,00 X 1,50	5,98	31,10	24,10	15,75	1.481,48
0030	4,00 X 1,50	6,00	31,40	25,53	16,31	1.157,41
0031	4,00 X 1,50	6,05	31,68	25,73	16,46	1.365,74
0032	4,00 X 1,50	5,96	27,15	23,52	16,37	1.203,70
0034	3,00 X 2,00	5,34	30,65	24,45	16,53	1.250,00
0035	4,00 X 1,50	6,04	31,30	26,83	17,02	1.342,59
0036	4,00 X 1,50	6,04	32,45	25,98	17,50	1.157,41
0037	4,00 X 1,50	6,04	32,95	24,92	16,08	1.388,89
0038	4,00 X 1,50	6,04	31,05	25,33	16,58	1.388,89

A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos para cada ano estudado, utilizando-se como variáveis independentes os valores digitais de reflectância e/ou índice de vegetação, onde se determinou uma equação referente ao volume e também o valor de R^2 ajustado proveniente de cada equação.

Tabela 3 - Equações de volume do período estudado e valores de R2 ajustado, fazenda Pinheiro

Ano	R^2 ajustado	Equação:
2007	0.170511	eq_vol_2007 = 306.5319 - 451.7395*eq_ndvi_2007 + 459.9947*eq_ref4_2007
2008	0.128272	eq_vol_2008 = 13.5136 + 97.7839*eq_ndvi_2008 + 319.0300*eq_ref4_2008
2009	0.285729	eq_vol_2009 = -1161.3818 + 2441.0828*eq_ndvi_2009 - 1612.6618*eq_ref4_2009
2010	0.380342	eq_vol_2010 = 591.5330 + 1480.2263*eq_ndvi_2010 - 4877.9718*eq_ref4_2010

A tabela acima apresenta resultados baseados na equação padrão y = a*NDVI + b*REF + c; verificando que através dos cálculos de NDVI e reflectância dispondo das imagens de satélite pode-se determinar o parâmetro biométrico escolhido. Para volume fez-se uso dos valores de reflectância da banda 4 e do índice de vegetação, onde Volume = a . NDVI + b . REF4 + c, segundo Maciel et al., (2009), a fim de obter equações de regressão com melhor resultado de cada ano da fazenda em estudo.

No entanto, os valores de R2 ajustado apresentados na tabela 3 não foram satisfatórios. O objetivo da análise estatística é saber a qualidade de uma amostra buscando regularidade presente nas observações na qual a regressão e correlação são técnicas estatísticas que se baseiam neste conceito de amostragem. O coeficiente de determinação (R2) é utilizado no caso de uma regressão linear para verificação do quão bem o modelo se ajusta aos dados. A tabela 4 traz valores de R2 ajustado consideravelmente inferior a 1, portanto insatisfatórios.

Nestas circunstâncias, na tentativa de solucionar este problema do coeficiente de determinação, volta-se a área inicial e ao invés de utilizar pontos aleatórios de cada parcela para chegar às equações apresentadas, fez-se uma média de todos os pixels da área em questão, na ferramenta R.

Segundo Tucker (1979), as variáveis independentes que melhor explicam a variância da variável dependente, são o NDVI e as reflectâncias, da banda 3 e 4, dispondo-se da equação padrão, segundo Ramos (2005), agora representada por y=ßo+ß1. x1+ ß2.x2, tem-se que para as variáveis independentes referente ao cálculo do volume são NDVI e reflectância da banda 4 para x1 e x2, respectivamente.

Assim, executou-se uma regressão múltipla para cada época, com recurso do comando lm() da ferramenta R já referido. Os resultados obtidos para o R2 estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Valores de R2 para Fazenda Pinheiro e Fazenda Cascata

Época	Fazenda Pinheiro R^2 Volume	Fazenda Cascata R^2 Volume
2007	0.0751	0.5297
2008	0.0369	0.2229
2009	0.0446	0.2572
2010	0.3562	0.0483

Com os dados da tabela 4, pode-se confirmar que os valores de R2 são muito pequenos e por isso estatisticamente não significativo.

De posse dos resultados apresentados pode-se verificar que mesmo com os valores de R2 insatisfatórios não se conclui a inexistência de correlação entre as variáveis dependentes e independentes, ou seja, outro fator, além da falta de correlação entre variáveis, pode estar presente.

Através de uma análise mais detalhada verificou-se que estes valores baixos do coeficiente de determinação são devido a pouca variabilidade dos dados.

O desvio padrão mostra o quanto de variação existe em relação ao valor esperado (média) e que um baixo desvio padrão indica que os dados tendem a estar próximos da média, enquanto o desvio padrão alto indica que os dados estão espalhados por uma gama de valores. A Tabela 5 apresenta os valores médios e desvio padrão para a variável em estudo.

Tabela 5 - Média e desvio padrão na Fazenda Pinheiro

Época	Volume	NDVI	REF 3	REF 4
2007	104.750	0.730	0.039	0.346
	9.060	0.010	0.001	0.014
2008	162.802	0.588	0.051	0.265
	10.993	0.014	0.001	0.008
2009	109.521	0.647	0.040	0.265
	13.819	0.008	0.000	0.007
2010	268.003	0.533	0.058	0.256
	16.794	0.007	0.001	0.005

Como o comportamento dos dados relativos à variação são muito semelhantes para as duas fazendas, apresentou-se na Tabela 5 os valores referentes à Fazenda Pinheiro. E, ao analisá-los, é visível a reduzida variação dos dados, ou seja, desvio padrão baixo.

A fim de contornar a falta de variabilidade de dados, mencionada anteriormente, decidiu-se estender a regressão à serie temporal, como é possível verificar através da média e desvio padrão ao longo do período estudado para variável, como mostra a Tabela 6.

Tabela 6 - Média e desvio padrão para variável série temporal, fazenda Pinheiro

	Volume	NDVI	REF 3	REF 4
$\bar{x}$	185.074	0.625	0.047	0.283
	62.084	0.075	0.008	0.039

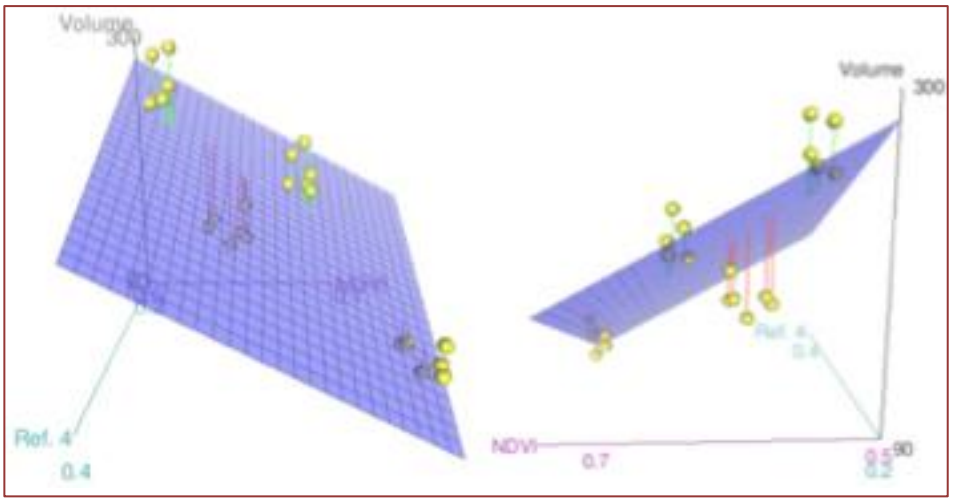
Com esta variabilidade mais favorável, executou-se o ajustamento para toda a série temporal, os resultados para o valor de R^2 encontram-se na Tabela 7 e como esperado, estes valores são substancialmente maiores que os obtidos para a regressão anterior, concordando com Canavesi et al., (2010), que encontraram valores para R^2 ajustado para os modelos variando de 0,589 a 0,704.

Tabela 7 - Valores de R^2 da fazenda Pinheiro e Cascata

Fazendas	R^2 Volume
Pinheiro	0.7018
Cascata	0.5614

Apesar de apresentar uma melhora significativa quando comparados com os valores obtidos para o caso anterior, os valores de R^2 mostraram-se como principal inconveniente à pesquisa por se apresentarem ainda baixos do ponto de vista estatístico, é importante destacar que para a Fazenda Pinheiro o valor encontrado próximo de 70% é considerado aceitável, Tabela 7.

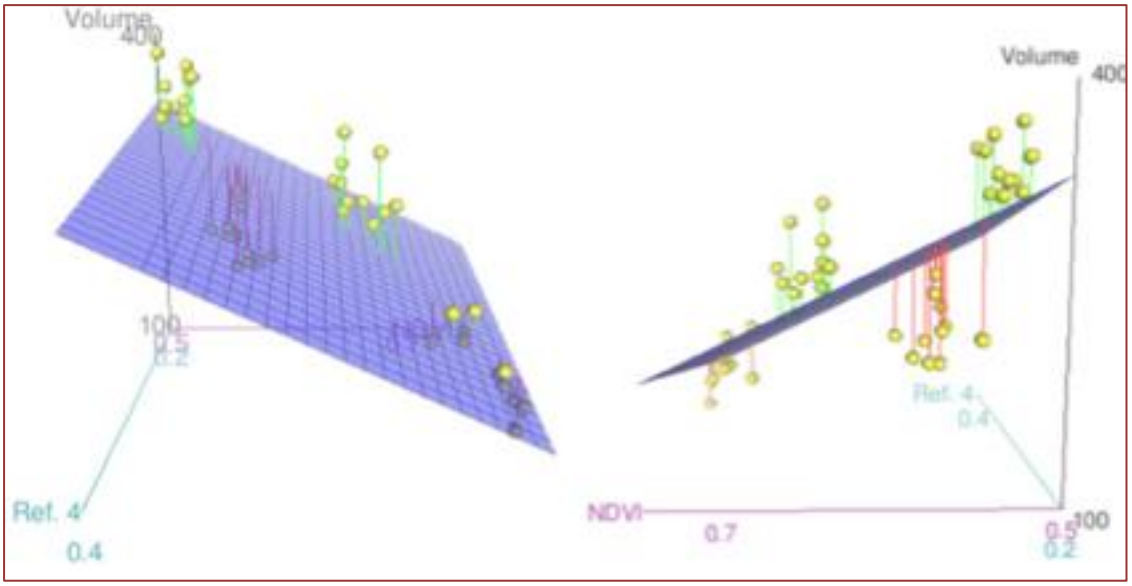
Figura 4 - Plano ajustado e representação dos resíduos do volume na Fazenda Pinheiro



Os novos modelos obtidos com melhor ajuste, para a fazendas Pinheiro e Cascata foram: V = 613.4285 - 471.3079 * NDVI - 473.5523 * REF4, figura 4 e V= 681.5558 - 586.2572 * NDVI - 259.7072 * REF4, Figura 5.

Ao analisar os resíduos, Figuras 4 e 5, verifica-se que estes apresentam um padrão não aleatório. Este padrão é um padrão sistemático, claramente relacionado com a época de aquisição e se expressa de igual forma nas duas fazendas. Fenômeno este que se deve as diferenças relativa da camada atmosférica entre as épocas de aquisição, sendo considerado um problema típico de sensoriamento remoto quando se utilizam imagens para detecção de alterações em que o efeito relativo da atmosfera deve ser corrigido.

Figura 5 - Plano ajustado e representação dos resíduos do volume na Fazenda Cascata



A análise estatística dos dados provenientes da medição de campo permitiu uma estimação analítica da incerteza associada ao resultado final, sendo assim, o uso dos dados de campo através do inventário florestal foi um diferencial no desenvolvimento da pesquisa, assim como a avaliação da potencialidade de utilização das imagens de satélite na estimação do volume onde a aparência da cobertura vegetal em uma imagem orbital é conseqüência de um processo complexo que envolve muitos parâmetros e fatores ambientais.

Atingindo-se o objetivo proposto com a obtenção dos modelos, verificou-se um valor de R2 próximo a 70% para a Fazenda Pinheiro, considerado um valor aceitável e de bom resultado comparado a levantamentos feitos em campo, já para a Fazenda Cascata manteve-se um baixo R2, Tabela 7. Ao analisar os resíduos constatou-se que estes não apresentavam um comportamento aleatório ao longo do tempo, sendo a explicação mais plausível para este fato os possíveis efeitos atmosféricos, que pode ser verificado nos gráficos de resíduos, Figuras 4 e 5.

O método aqui desenvolvido pode ser reaplicado para plantações de florestas de eucalipto com restrições quanto às condições consideradas, afinal os resultados podem variar para outras espécies, estrutura e para outros métodos de determinação das variáveis.

4. CONCLUSÃO

Dentre as limitações encontradas, a maior delas foi a variabilidade reduzida de tal forma

que não foi suficiente para a determinação de uma única equação geral com a finalidade de obter resultados como em árvores de diferentes características da cultura avaliada, como foi demonstrado pelos valores de R2 associados aos ajustamentos realizados.

Observando as devidas restrições e os modelos com melhor ajuste estatístico, é possível utilizar imagens de sensores remotos para a ampliação da capacidade de geração de informações em cadastros florestais.

REFERÊNCIAS

[1] BERRA, E. F.; BRANDELERO, C.; PEREIRA, R. S.; SEBEM, E.; GOERGEN, L. C.de G.; BENEDETTI, A. C. P,; LIPERT, D. B. Estimativa do volume total de madeira em espécies de eucalipto a partir de imagens de satélite Landsat**. Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 4, p. 853-864, 2012.

[2] CANAVESI, V.; PONZONI, F. J.; VALERIANO, M. M. Estimativa de volume de madeira em plantios de *Eucalyptus* spp. utilizando dados hiperespectrais e dados topográficos. Viçosa, **Rev. Árvore**. Viçosa, MG,v.34, n.3, p. 539-549, 2010.

[3] CUNHA, U. S. da. Dendrometria e inventário florestal. Manaus, 2004, 61p. **Apostila** - Escola Agrotécnica Federal de Manaus.

[4] GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. **Processamento de imagens digitais**. São Paulo, Edgard Blücher, Prentice Hall, 2000. 1004p.

[5] KRIEGLER, F. J.; MALILA, W. A.; NALEPKA, R. F.; RICHARDSON, W. 'Preprocessing transformations and their effects on multispectral recognition. '**Proceedings of the Sixth International Symposium on Remote Sensing of Environment**, p. 97-131. 1969.

[6] LUIZ, A. J. B.; GÜRTLER, S.; GLERIANI, J. M.; EPIPHANIO, J. C. N.; CAMPOS, R. C. Reflectância a partir do número digital de imagens ETM+. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11. (SBSR), 2003, Belo Horizonte. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2003. p.2071 - 2078.

[7] MACIEL, M. N. M.; BASTOS, P. C. O.; CARVALHO, J. O. P.; WATRIN, O. S. Uso de imagens orbitais na estimativa de parâmetros estruturais de uma floresta primária no município de Paragominas, Estado do Pará**. Revista de Ciências Agrárias**, Belém, n. 52, p. 159- 178, 2009.

[8] MATIAS, L. F. **Sistemas de informações geográficas (SIG): Teoria e métodos para representação do espaço geográfico**. São Paulo, 2001, 325p. Tese (Doutorado em Geografia Humana) Universidade de São Paulo.

[9] MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação.** 3 ed. Viçosa: Editora UFV, 2005. 320p.

[10] SILVA, A. M. **Curso Processamento digital de imagens de satélite**. Porto Alegre: Centro de Eventos da PUCRS, 2001. Disponível em: < http://www.cartografia.org.br >. Acesso em: 19 fev. 2007.

[11] THAINES, F.; BRAZ, E. M,; MATTOS, P. P.; THAINES, A. A. R**.** Equações para estimativa de volume de Madeira para a região da bacia do Rio Ituxi, Cábrea, AM. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v.30. n.64, p.282-289, 2010.

[12] TUCKER, C. J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. **Remote Sensing of Environment**, Minnesota, 8, p.127-150, 1979.

[13] RAMOS, A. L. Q. B. **Busca de descritores na modelagem quimiométrica de inibidores de corrosão.** Niterói, 2005,130 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal Fluminense.

[14] ROUSE, J. W. et al. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: ERTS SYMPOSIUM, 3., 1973, Washington. **Proceedings...**Washington: NASA, 1973. p.309-317.

Capítulo 13

Produção de membranas cerâmicas de baixo custo utilizando caulim e cinzas do bagaço de cana de açúcar

Francimarcio Geraldo da Silva Gambarra
Genaro Zenaide Clericuzi
Antusia dos Santos Barbosa
Tatiane Maria do Nascimento
Wemilly Lucena Silva
Anna Laura Mendonça da Trindade Silva
Ana Vitória Santos Marques
Meiry Gláucia Freire Rodrigues

Resumo: O presente estudo tem como objetivo o reaproveitamento de resíduos industriais para produzir membranas cerâmicas de baixo custo. A membrana cerâmica de baixo custo é produzida pela combinação de caulim e cinza do bagaço de cana-de-açúcar (CBCA) em diferentes proporções. Os resultados indicam que a adição de CBCA aumentou tanto a porosidade quanto o fluxo de água da membrana cerâmica de baixo custo, sugerindo uma melhoria em seu desempenho. As matérias-primas foram submetidas à caracterização através de difração de raios X, espectrofotometria de raios X por energia dispersiva. Além disso, foram conduzidos testes de porosidade, juntamente com a caracterização por difração de raios X (DRX) e medidas de permeação com água pura nas membranas cerâmicas. As membranas selecionadas foram fabricadas em duas composições diferentes e sintetizadas a uma temperatura de 650 °C. Essas membranas podem representar uma alternativa econômica e sustentável para o tratamento de águas residuais industriais, contribuindo para a redução da poluição ambiental.

Palavras-chave: Membrana cerâmica, Baixo consumo de energia, Caulim, Cinzas do bagaço de cana-de-açúcar.

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, as membranas cerâmicas têm ganhado destaque devido às suas excelentes características químicas, térmicas e mecânicas, além de sua eficiência superior de separação (Benito et al., 2004; Vasanth et al., 2011). Nos próximos anos, a pesquisa de novos materiais cerâmicos e métodos de produção simplificados podem ser cruciais para desenvolver membranas mais acessíveis (Manni *et al*., 2020).

Porém, a aplicação de membranas cerâmicas industriais compostas por alumina, titânia, sílica e zircônia enfrenta desafios, como altos custos e exigência de temperaturas elevadas para sinterização (Yang, 1998). Assim, membranas cerâmicas mais baratas, baseadas em argila, podem ser benéficas para a indústria. Pesquisadores têm utilizado argilas de custo reduzido, como argila natural, marroquina, tunisiana, sepiolita, argelina, dolomita e caulim (Belibi *et al*., 2015; Benito *et al*., 2004; Bejjaoui *et al*., 2010; Mestre *et al*., 2019).

A argila esmectita, encontrada no Brasil, é uma matéria-prima acessível para produção de membranas. A argila é um material natural com textura fina, que adquire certa plasticidade quando misturada com água. Quimicamente, ela é composta principalmente por silicatos hidratados de alumínio, ferro e magnésio (Santos, 1992).

As membranas cerâmicas de baixo custo são comumente compostas por um suporte simétrico, frequentemente utilizado em microfiltração. Esses suportes podem funcionar como substratos onde são aplicadas uma ou várias camadas, feitas de matérias-primas acessíveis como argilas, feldspatos ou até resíduos, ou de matérias-primas comuns em camadas seletivas, como alumina, titânia e zircônia. Embora haja uma ampla gama de matérias-primas de baixo custo disponíveis para a fabricação de membranas cerâmicas, incluindo argilas e caulim (Belibi *et al*., 2015; Elomari *et al*., 2015). No entanto, algumas feitas com argilas apresentam desvantagens como baixa porosidade, poros pequenos ou alta retração durante a sinterização devido a minerais ou impurezas em sua composição.

As membranas desempenham um papel crucial na tecnologia de separação, oferecendo processos economicamente viáveis, eliminando a necessidade de produtos químicos, operando em temperaturas ambientes e sendo simples de utilizar em separações de misturas líquidas e gasosas (Zawrah *et al*., 2014). Seu uso tem crescido em vários setores econômicos devido a suas vantagens, incluindo estabilidade química e térmica, resistência mecânica, longa vida útil e baixo impacto ambiental. (Elomari *et al*., 2015).

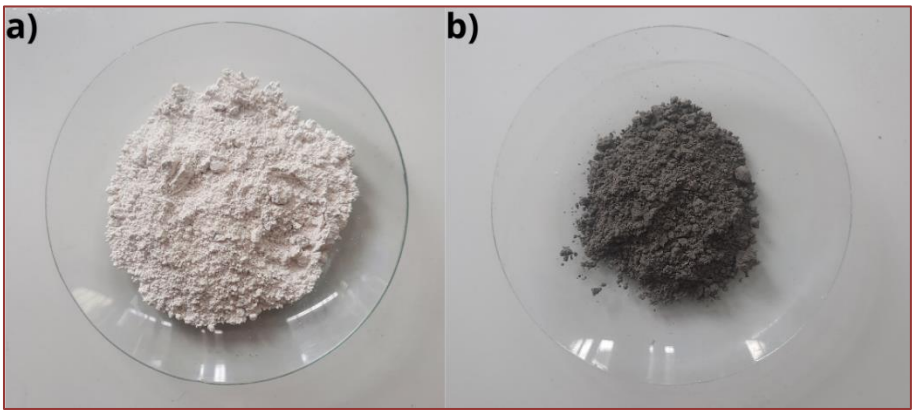
2. MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Desenvolvimento de Novos Materiais (LABNOV), da Unidade Acadêmica de Engenharia Química, localizado no Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal de Campina Grande (UAEQ/CCT/UFCG).

2.1. MATERIAIS

Foram utilizadas, água destilada; Caulim in natura – proveniente da região de Caiçara no Rio Grande do Norte (RN) e Cinza do bagaço de cana-de-açúcar (CBCA), proveniente do Engenho Triunfo, Areia, Paraíba (PB). Os equipamentos que foram utilizados são: Almofariz e pistilo; Balança analítica – Marte, AL500 C; Difratômetro de raios X – Shimadzu XRD-6000; Estufa – Quimis; Moinho de bolas – Quimis; Molde de aço inoxidável; Mufla – Quimis; Peneira – malha 200; Prensa mecânica – Bovenau P15200.

Figura 1. Matérias-primas (a) caulim e (b) Cinza do bagaço de cana-de-açúcar



2.1.1. SÍNTESE DAS MEMBRANAS CERÂMICAS DE BAIXO CUSTO

Na Tabela 1 estão apresentadas as formulações das membranas cerâmicas de baixo custo.

Tabela 1 – Proporção das matérias-primas na composição das membranas cerâmicas de baixo custo

Formulação	Caulim (%)	CBCA (%)
M1	50	50
M2	40	60

As membranas cerâmicas de baixo custo foram codificadas como M1 e M2.

Para a preparação do suporte, foi realizada a combinação de caulim in natura e cinza do bagaço de cana-de-açúcar (CBCA). A mistura resultante foi processada em um moinho de bolas por um período de 2 horas. Após esse tempo, a mistura foi peneirada através de uma malha de 200 mesh para garantir sua granulometria adequada. Em seguida, as esferas foram lavadas com uma pequena quantidade de água destilada para otimizar o aproveitamento do material. Logo após isso, o material foi então submetido a um processo de secagem a 100 °C por 24 horas para extrair a umidade.

Posteriormente, uma porção de 3 gramas do material preparado foi prensada em um molde para a produção de membranas em disco. Esse processo de prensagem foi realizado por 1 minuto, aplicando uma pressão de 1 tonelada. Os suportes resultantes foram submetidos a uma nova etapa de secagem a 100°C por 24 horas para extrair qualquer umidade residual. Em última análise, os suportes foram submetidos a um processo de sinterização em um forno mufla, onde foram aquecidos a 650°C por 3 horas. Esse processo de sinterização foi realizado com uma rampa de aquecimento de 5°C/min, com o objetivo específico de obter o metacaulim desejado.

2.2. CARACTERIZAÇÃO

2.2.1. DIFRAÇÃO DE RAIOS X

O aparelho utilizado é da marca Shimadzu XRD-6000 com radiação CuKα, tensão de 40 KV, corrente de 30 mA, tamanho do passo de 0,020 (2θ) e tempo por passo de 1 s, com velocidade de varredura de 2º (2θ)/min, com ângulo 2θ percorrido de 3 a 50°. Onde uma amostra é compactada em um suporte e em seguida realiza-se a incidência de raios X.

2.2.2 DETERMINAÇÃO DA POROSIDADE APARENTE DA MEMBRANA CERÂMICA DE BAIXO CUSTO

A porosidade aparente foi avaliada por meio do método de imersão, que se fundamenta no princípio de Arquimedes, empregando água como líquido de imersão, seguindo os padrões estabelecidos na norma ASTM C 20 (2000). Esse processo foi conduzido com o suporte de uma balança analítica e os cálculos foram realizados conforme a Equação 1

$$PA = \frac{Mu - Ms}{Mu - Mi} \text{ x } 100 \quad (1)$$

Em que M_U é a massa úmida (g); M_S é a massa seca (g); M_I é a massa imersa (g).

2.2.3. ESPECTROFOTOMETRIA DE RAIOS X POR ENERGIA DISPERSIVA

Nesta análise foi utilizado um espectrômetro de fluorescência de raios X por energia dispersiva EDX-720 Shimadzu.

2.2.4. RAIO MÉDIO DOS POROS

A partir dos resultados obtidos na caracterização tornou-se possível calcular também o raio de poros da membrana a partir da Equação (2) de Guerout-Elford-Ferry:

$$r = \sqrt{\frac{(2{,}9 - 1{,}75\varepsilon) \times 8 \times \eta \times h}{\varepsilon \times \Delta P} \times J} \quad (2)$$

Na equação fornecida, ε representa a porosidade, η denota a viscosidade da água em condições ambiente (Pa.s), h é a espessura da membrana (m), ΔP indica a variação de pressão no momento do fluxo de água pura (Pa), e J representa o fluxo médio para essa pressão ($m^3/s.m^2$).

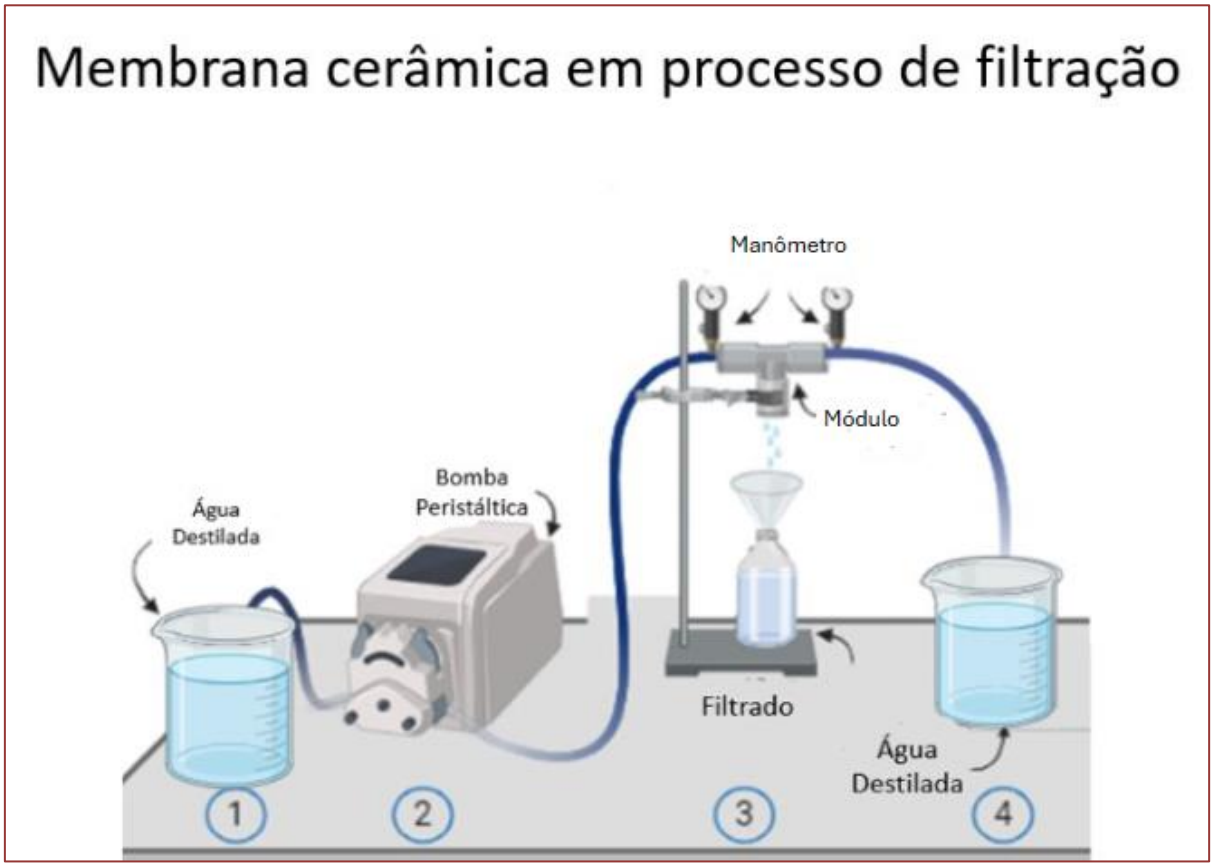
2.3. AVALIAÇÃO DAS MEMBRANAS CERÂMICAS DE BAIXO CUSTO

Para a avaliação da membrana cerâmica no processo de fluxo contínuo de água, conforme sistema apresentado na Figura 2. Foi utilizada as seguintes condições: temperatura 25°C e pressão de 2,0 bar (Carmo, 2022). O processo foi avaliado durante um período de 120 minutos. As determinações dos fluxos foram obtidas através da Equação 3.

$$J = \frac{V}{A \times \Delta t} \quad (3)$$

Em que J é o fluxo do líquido (L/m².h); V é o volume do permeado (L); A é a área da membrana (m²) e Δt é o tempo de permeação (horas).

Figura 2. Sistema utilizado para avaliar a permeabilidade das membranas cerâmicas de baixo custo. (1) Tanque; (2) bomba peristálitica; (3) 3-1 Manômetro antes da entrada do módulo; 3-2 Manômetro após entrada do módulo; (4) módulo de permeação



3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

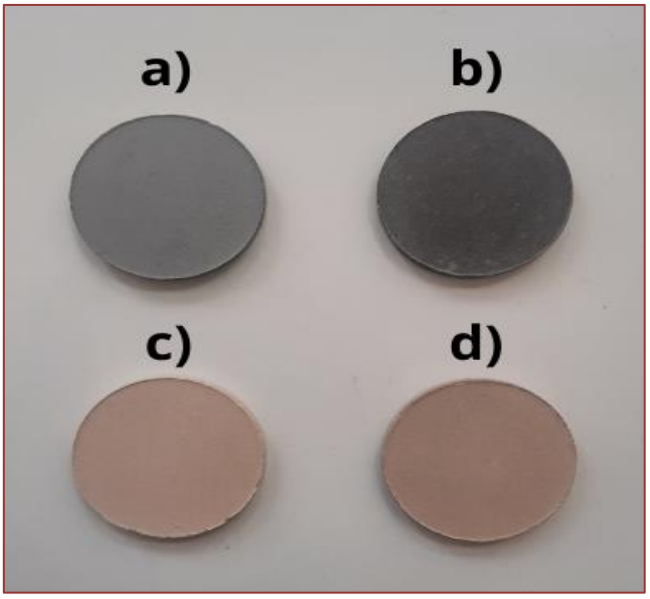
3.1. CARACTERIZAÇÃO DAS MATÉRIAS-PRIMAS

A sinterização desempenha um papel crucial na fabricação de membranas cerâmicas, possibilitando não apenas o aprimoramento da resistência mecânica necessária, mas também o controle do tamanho dos poros da membrana.

As membranas produzidas neste estudo foram sinterizadas a 650 °C de acordo com trabalhos desenvolvidos anteriormente no nosso laboratório (Carmo, 2022).

Na Figura 3 está apresentada as imagens das membranas cerâmicas de baixo custo.

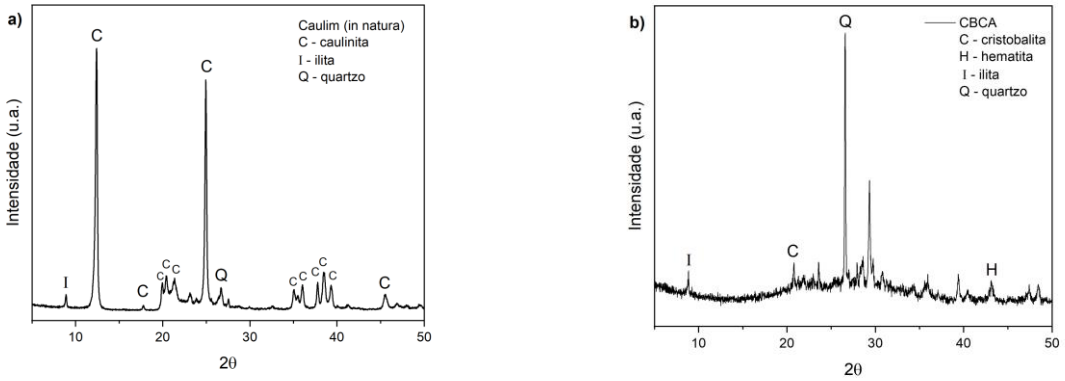
Figura 3. Visualização das membranas cerâmicas M1 e M2 (a), (b) antes da sinterização (c), (d) após a sinterização 650°C



Evidencia-se que as colorações das membranas são diferentes para as duas formulações (M1 e M2), quanto maior a quantidade de CBCA mais escura é a membrana antes da sinterização. Após a sinterização, as colorações das membranas se modificam. As membranas M1 e M2 se transformam de cinza-claro e cinza-escuro para marron respetivamente. A variação de cor pode ser atribuída ao nível de oxidação do ferro (Elomari et al., 2016).

Nas Figuras 4 (a-b), são apresentados difratogramas do caulim (a) e cinza do bagaço de cana-de-açúcar (b).

Figura 4. Difratogramas do caulim (a) e da CBCA (b)



O padrão de difração de raios X (DRX) apresentado na Figura 4 (a), revela que o caulim consiste principalmente de caulinita, com picos bem definidos em torno de 2θ = 12,42 º e

25,49 º (Khan et al., 2017). Além disso, há picos de menor intensidade de outros argilominerais, como quartzo em 2θ = 26,5 ° e ilita em 2θ = 8,86 °. A identificação das fases cristalinas foi realizada usando a biblioteca ICDD – JCPDS (International Centre of Powder Diffraction Standarts).

Na Figura 4 (b), foram identificadas as fases cristalinas quartzo, cristobalita e hematita, indicando queima de biomassa em alta temperatura (Arif, Clark e Lake, 2016). A predominância do quartzo pode ser atribuída à presença de areia aderida à cana-de-açúcar durante o processo de colheita (Xu et al., 2019). A cristobalita é formada devido à elevada temperatura de combustão no processo de queima (Katare e Maduwar, 2017). Embora as cinzas contenham sílica na forma amorfa, isso sugere que o método de obtenção favoreceu a cristalização da sílica.

Na Tabela 2 estão apresentados os resultados da análise química do caulim e da CBCA, realizados por Espectrometria de Fluorescência de Raios-X.

Tabela 2 - Resultados de análise química para o caulim in natura e CBCA

Compostos (%)	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	CaO	K_2O	P_2O_5	SO_3
Caulim	50,25	47,62	0,34	0,7	-	0,7	0,09	0,13
CBCA	49,16	17,39	1,14	9,80	5,40	4,64	3,82	-

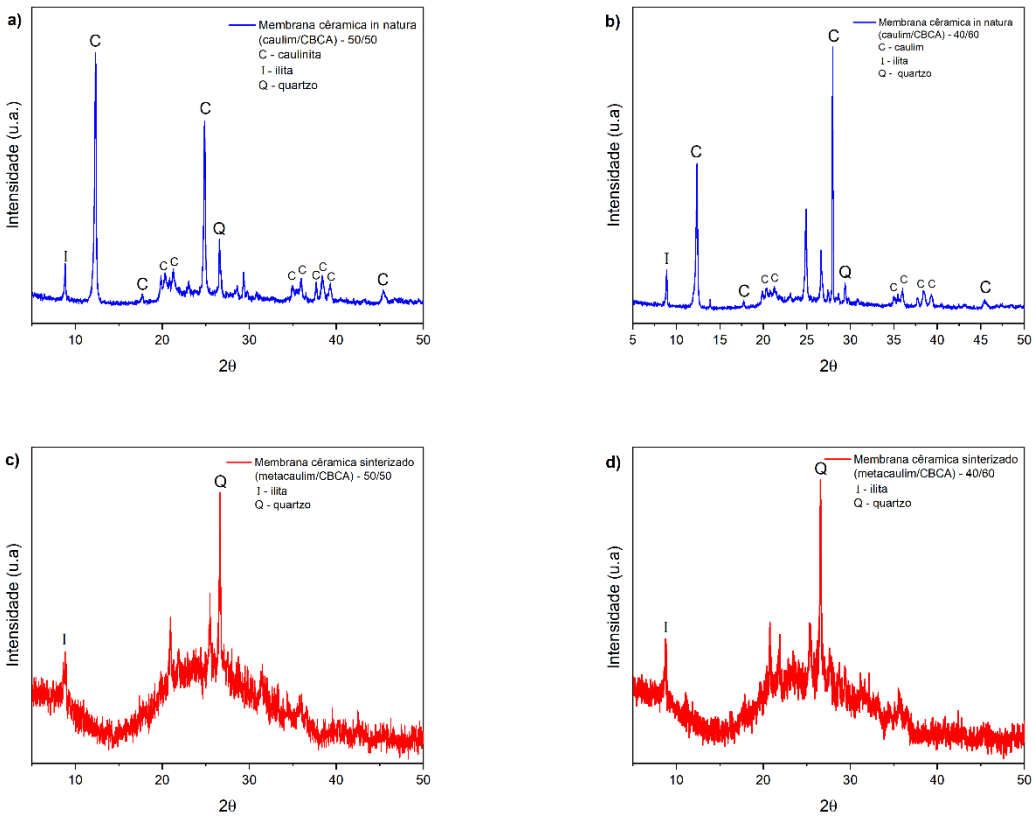
A análise química do caulim revela predominantemente a presença de óxido de silício (SiO_2) e óxido de alumínio (Al_2O_3), além de outros óxidos como Fe_2O_3, SO_3, K_2O, MgO e P_2O_5.

Quanto à análise química da CBCA, nota-se a predominância de óxido de silício (SiO_2) e óxido de alumínio (Al_2O_3) como seus principais constituintes. É importante ressaltar que a CBCA analisada contém contaminações do solo, resultando em um produto proveniente da queima do bagaço, que é uma combinação do material inorgânico (cinzas) presente no bagaço da cana-de-açúcar e quartzo, possivelmente proveniente da areia.

3.2. CARACTERIZAÇÃO DAS MEMBRANAS CERÂMICAS DE BAIXO CUSTO

Nas Figuras 5 (a-d), os difratogramas das membranas cerâmicas de baixo custo antes da sinterização (a-b) e após a sinterização (c-d) são apresentados.

Figura 5. Difratogramas das membranas cerâmicas (a) e (b) antes da sinterização (c) e (d) após a sinterização



Nas Figuras 5 (a-b), são determinadas as seguintes fases cristalinas: caulinita, ilita e quartzo.

Ao examinar os difratogramas das Figuras 5 (c-d), é evidente que, após a sinterização da membrana cerâmica de baixo custo, o caulim foi convertido em metacaulim, resultando no colapso da estrutura cristalina do caulim devido à desidroxilação. Além disso, são observados picos residuais após a calcificação, indicando que o quartzo e a ilita ainda não foram completamente decompostos, pois, requerem temperaturas superiores a 700 °C para a ruptura de suas estruturas.

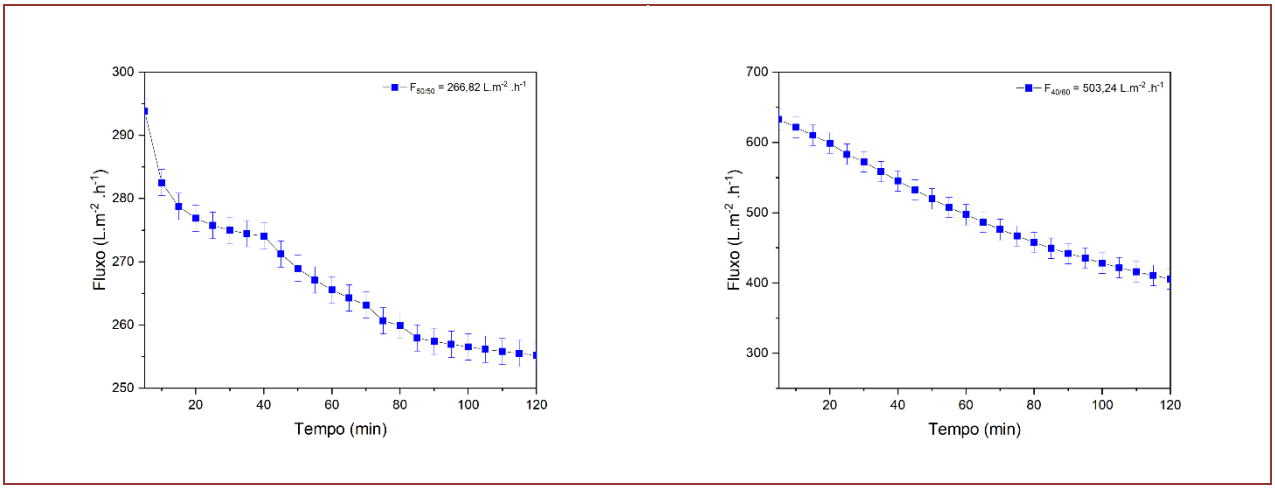
Uma curva acentuada em torno de 20° em 2θ é notável, confirmando a presença de material amorfo. Além disso, a conversão da caulinita em metacaulim é ratificada pela ausência de picos de difração da caulinita quando comparada às Figura 5 (a-b), acompanhada pelo aparecimento do aluminossilicato amorfo (KHAN *et al.*, 2017). O metacaulim consiste principalmente em material amorfo e os picos mais pronunciados de difração correspondem à presença de quartzo (SiO_2), à fase cristalina no metacaulim e além disso, é importante considerar a presença de CBCA na composição suporte.

$$Al_2O_3.2SiO_2.2H_2O \xrightarrow{600-800°C} Al_2O_3.2SiO_2 + H_2O \uparrow \quad (1)$$

3.3. FLUXO DE ÁGUA

Nas Figuras 6 (a-b) estão ilustrados os fluxos de água para as duas composições das membranas cerâmicas de baixo custo (caulim/CBCA): 50/50 e 40/60.

Figura 6. Fluxo de água pura como função do tempo sob as condições experimentais: 2 bar durante 120 minutos a Temperatura de 25°C



A partir do fluxo de água exibido na Figura 6 (a), M1, observa-se um comportamento decrescente, com uma redução mais significativa em 10 minutos, no momento em que ocorre o processo inicial de hidratação da superfície do suporte.

Na Figura 6 (b), M2, verifica-se um comportamento decrescente, com uma redução mais significativa a partir de 20 minutos.

O valor médio do fluxo observado nessas condições experimentais para o suporte de

M1 apresentou fluxo médio de 266,82 L/m^2.h^1 e M2 é de 503,24 L/m^2.h^1. Dessa forma, a adição do agente porogênico (CBCA) favoreceu um maior fluxo médio de água.

Na Tabela 3 estão apresentados os valores encontrados das porosidades e diâmetros médio dos poros para as membranas cerâmicas M1 e M2.

Tabela 3 - Parâmetros das membranas cerâmicas de baixo custo

Membranas cerâmicas	Porosidade (%)	Raio médio dos poros (µm)
M1	47,45	0,34
M2	45,33	0,48

Evidencia-se que a porosidade não foi alterada com a modificação dos valores do agente porogênico (CBCA). Independentemente da composição da membrana cerâmica os valores da porosidade foram praticamente iguais (47,75 e 45,33).

Os valores dos diâmetros médios dos poros foram alterados, ou seja, com o aumento do teor do agente porogênico houve um aumento no valor do raio médio dos poros (0,34 para 0,48 µm).

A fim de comparar o desempenho das membranas cerâmicas preparados neste trabalho com estudos recentes, na Tabela 4 estão resumidos os valores dos fluxos de água pura.

Tabela 4 - Comparação dos desempenhos dos SCBC preparados a partir do método de sinterização uniaxial a seco (650 ºC) deste trabalho e da literatura

Membranas	(AB + CBCA)	(AB + Mg + A)	SCBC1	SCBC2
Parâmetros Operacionais	Pressão: 3 bar T: 25 ºC t: 120 min	Pressão: 2 bar T: 25 ºC t: 60 min	Pressão: 2 bar T: 25 ºC t: 120 min	Pressão: 2 bar T: 25 ºC t: 120 min
Fluxo (L/m².h)	50,00	128,71	266,82	503,24
Referências	Araújo, 2021	Araújo, 2022	Este trabalho	Este trabalho

*AB: Argila bofe; CBCA: Cinza do bagaço de cana-de-açúcar; Mg: Magnesita; A: amido

Ao comparar os resultados dos fluxos de água das membranas (AB + CBCA) e (AB + Mg + A) com os das membranas preparadas neste estudo, observa-se uma redução nos valores. Essas diferenças nos valores podem está relacionada com as características das membranas, uma vez que são compostas de diferentes materiais com propriedades diferentes. Por exemplo, a membrana produzida com a Magnesita, que é um mineral pertencente à família dos carbonatos do grupo da calcita, possuindo como unidade aniônica fundamental da estrutura o grupo $(CO_3)^{2-}$.

4. CONCLUSÃO

Após a análise das propriedades das matérias-primas (caulim e cinzas agroindustriais do bagaço de cana-de-açúcar), a fabricação bem-sucedida das membranas cerâmicas de baixo custo utilizando o método de sinterização uniaxial a seco foi alcançada.

A adição do agente porogênico (cinzas agroindustriais do bagaço de cana-de-açúcar) teve um impacto positivo nos resultados do fluxo de água e raio médio dos poros.

Das duas membranas produzidas a que apresentou melhores resultados foi a membrana M1 com composição de 50%.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo suporte financeiro. Francimarcio Geraldo da Silva Gambarra agradece PIBIC/CNPq (Processo 180556/2024-0). Antusia dos Santos Barbosa agradece PNPD/CAPES (Processo 88887.37222912019-00). Meiry Gláucia Freire Rodrigues agradece FAPESQ (Edital 19/2022).

REFERÊNCIAS

[1] ABEDI, S.; SUTERIA, N. S.; CHEN, C. C.; VANAPALLI, S. A. Microfluidic production of size-tunable hexadecane-in-water emulsions: Effect of droplet size on destabilization of two dimensional emulsions due to partial coalescence. **Journal of Colloid and Interface Science.** v. 533, p. 59-70, 2019.

[2] Araújo, A. B. F.; Rodrigues, M. G. F. Preparação de membrana de baixo custo utilizando resíduo agroindustrial e avaliação na remoção de corantes têxteis: estudo de regeneração. **XIX Congresso de Iniciação Científica da Universidade Federal de Campina Grande,** 2022.

[3] Araújo, A. B. F.; Rodrigues, M. G. F. Preparação de membranas de baixo custo utilizando matérias primas brasileiras para serem aplicadas no controle da poluição ambiental. **XVIII Congresso de Iniciação Científica da Universidade Federal de Campina Grande,** 2021.

[4] ARIF, E.; CLARK, M. W.; LAKE, N. Sugar cane bagasse ash from a high efficiency co-generation boiler: Applications in cement and mortar production. **Construction and Building Materials**, v. 128, p. 287-297, 2016.

[5] BAIG, U.; FAIZAN, M.; SAJID, M. Multifunctional membranes with super-wetting characteristics for oil-water separation and removal of hazardous environmental pollutants from water: A review. **Advances in Colloid and Interface Science.** v. 285, p. 102276, 2020.

[6] BARBOSA, A. S.; BARBOSA, A. S.; RODRIGUES, M. G. F. Low-cost membrane used in oil/water removal, **Desalin, Water Treat.** 2024.

[7] BARBOSA, A. S.; BARBOSA, A. S.; RODRIGUES, M. G. F. Study of the influence of the aluminum source (acetate or sulfate) on the synthesis of the ceramic membrane and applications of emulsion oil water: use and reuse. **Research, Society and Development.** v. 10, n. 13, e75101321023, 2021.

[8] BELIBI BELIBI, P.; NGUEMTCHOUIN, M. M. G.; RIVALLIN, M.; NDI NSAMI, J.; SIELIECHI, J. CERNEAUX, S.; NGASSOUM, M. B.; CRETIN, M.; Microfiltration ceramic membranes from local Cameroonian clay applicable to water treatment**. Ceramics International**, v. 41, p. 2752–2759, 2015.

[9] CARMO, E. S. **Produção de membranas cerâmicas de baixo custo para a remoção de corantes**. 2022. 135 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2022.

[10] COLLE, R. D.; FORTULAN, C. A.; FONTES, S. R. Manufacture and characterization of ultra and microfiltration ceramic membranes by isostatic pressing. **Ceramics International,** v. 37, p. 1161-1168, 2011.

[11] CRAVILLON, J.; SCHRODER, C. A.; BUX, H.; ROTHKIRCH, A.; CARO, J.; WIEBCKE, M. Formate modulated solvothermal synthesis of ZIF-8 investigated using time-resolved in situ X-ray diffraction and scanning electron microscopy. **CrystEngComm.** v. 14, p. 492–498, 2012.

[12] ELANCHEZHIYAN, S. S.; PRABHU, S. M.; MEENAKSHI, S. Effective adsorption of oil droplets from oil-in-water emulsion using metal ions encapsulated biopolymers: Role of metal ions and their mechanism in oil removal. **International Journal of Biological Macromolecules.** v. 112, p. 294-305, 2018.

[13] ELOMARI, H.; ACHIOU, B.; OUAMMOU, M.; ALBIZANE, A.; BENNAZHA, J.; ALAMIYOUNSSI, S.; ELAMRANI, I. Elaboration and characterization of flat membrane supports from Moroccan clays. Application for the treatment of wastewater. **Desalination and Water Treatment.** v.5743, p. 20298-20306, 2016.

[14] FADALI, O.A.; MAHMOUD, M.S.; ABDELRAHEEM, O.H.; MOHAMMED, S.G. Evaluation of the hydrodynamics generated by agitation and electromagnetic field during the electrocoagulation of oil/water emulsion. **Journal of Water Process Engineering.** v. 25, p. 182-189, 2018.

[15] FREY, K.; TORRES, P. H. C.; JACOBI, P. R.; RAMOS, R. F. **Objetivos do Desenvolvimento Sustentável - Desafios para o planejamento e a governança ambiental na Macrometrópole Paulista**. Editora UFABC: Santo André, 2020.

[16] GHAFFAR, I.; IMRAN, M.; PERVEEN, S.; KANWAL, T.; SAIFULLAH, S.; BERTINO, M. F.; EHRHARDT, C. J.; YADAVALLI, V. K.; SHAH, M. R. Synthesis of chitosan coated metal organic frameworks (MOFs) for increasing vancomycin bactericidal potentials against resistant S. aureus strain. **Materials Science and Engineering C.** v. 105, p. 110111, 2019.

[17] HE, M.; YAO, J.F.; LIU, Q.; WANG, K.; CHEN, F.Y.; WANG, H.T. Facile synthesis of zeolitic imidazolate framework-8 from a concentrated aqueous solution. **Microporous and Mesoporous Materials.** v. 184, p. 55–60, 2014.

[18] HSIEH, H. P. **Inorganic Membranes for Separation and Reaction**. Ed. Elsevier - Amsterdam -

The Netherlands - 1996.

[19] HU, Y.; DONG, X.; NAN, J.; JIN, W.; REN, X.; XU, N.; LEE, Y. M. Metal-organic framework membranes fabricated via reactive seeding. **ChemComm.** v. 47, p. 737-739, 2011.

[20] KATARE, V. D.; MADUWAR, M. V. Experimental characterization of sugarcane biomass ash: a review. **Construction and Building Materials**, v. 152, p. 1-15, 2017.

[21] KITAGAWA, S.; KITAURA, R.; NORO, S. **Functional porous coordination polymers.** Angewandte Chemie International Edition**.** v. 43, no. 18, p. 2334-2375, 2004.

[22] LIN, Y. Metal organic framework membranes for separation applications. **Current Opinion in Chemical Engineering.** v. 8, p. 21–28, 2015.

[23] LU, Y.; WANG, X.; LIU, W.; LI, E.; CHENG, F.; MILLER, J. D. Dispersion behavior and attachment of high internal phase water-in-oil emulsion droplets during fine coal flotation. **Fuel.** v. 253, p. 273 – 282, 2019.

[24] MANNI, A.; ACHIOU, B.; KARIM, A.; HARRATI, A.; SADIK, C.; OUAMMOU, M.; ALAMI, S.; YOUNSSI.; EL BOUARI, A. New low-cost ceramic microfiltration membrane made from natural magnesite for industrial wastewater treatment. J**ournal of Environmental Chemical Engineering**. v. 8, p. 103906 (2020).

[25] MESTRE, S.; GOZALBO, A.; LORENTE-AYZA, M. M.; SÁNCHEZ, E. Low-cost ceramic membranes: A research opportunity for industrial application. **Journal of the European Ceramic Society,** v. 22, p. 175-187, 2019.

[26] RODRIGUES, D. P. A. **Síntese de estruturas metalorgânicas zeolitic imidazolate framework-8: influência da cristalinidade e aplicação no processo de separação emulsão óleo/água.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, 2021.

[27] RODRIGUES, M. G. F.; BARBOSA, T. L. A.; RODRIGUES, D. P. A. Zinc imidazolate framework-8 nanoparticle application in oil removal from oil/water emulsion and reuse. **Journal of Nanoparticles Research.** v. 22, p. 328-342, 2020.

[28] SHAHBAZ, M.; RASHID, N.; SALEEM, J.; MACKEY, H.; MCKAY, G.; AL-ANSARI, T. A review of waste management approaches to maximise sustainable value of waste from the oil and gas industry and potential for the State of Qatar. **Fuel.** v. 332, p. 126220, 2023.

[29] SANTOS, P. S. **Ciência e Tecnologia de Argilas**, v. 1, 2ª Ed., Ed. Edgard Blucher, 1992.

[30] TAWALBEH, M.; AL MOJJLY, A.; AL-OTHMAN, A.; HILAL, N. Membrane separation as a pre-treatment process for oily saline water. **Desalination.** v. 447, p. 182–202, 2018.

[31] TIAN, Q.; LIU, Q.; ZHOU, J.; JU, P.; WATERHOUSE, G. I. N.; ZHOU, S.; AI, S. Superhydrophobic sponge containing silicone oil-modified layered double hydroxide sheets for rapid oil-water separations. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects.** v. 570, p. 339–346, 2019.

[32] VENNA, S. R.; JASINSKI, J. B., CARREON, M.A. Structural Evolution of Zeolitic Imidazolate Framework-8. **Journal of the American Chemical Society.** v. 132, p. 18030– 18033, 2010.

[33] WAHI, R.; CHUAH, L. A.; CHOONG, T.S.Y.; NGAINI, Z.; NOUROUZI, M. M. Oil removal from aqueous state by natural fibrous sorbent: An overview. **Separation and Purification Technology.** v. 113, p. 51–63, 2013.

[34] XU, Q. et al. Characteristics and Applications of Sugar Cane Bagasse Ash Waste in Cementitious Materials. **Materials**, v. 12, p. 39, 2019.

[35] YU, J.; PAN, Y.; WANG, C., LAI, Z. ZIF-8 membranes with improved reproducibility fabricated from sputter-coated ZnO/alumina supports. **Chemical Engineering Science**. v. 141, p. 119 – 124, 2016.

[36] ZAWRAH, M. F.; KHATTAB, R. M.; GIRGIS, L.G.; SHEREEFY El, E. E.; SAWAN, S. E. E. Effect of CTAB as a foaming agent on the properties of alumina ceramic membranes. **Ceramic International,** v. 40 (4), p. 5299-5305, 2014.

[37] ZHANG, C.; LIVELY, R.P.; ZHANG, K.; JOHNSON, J.R.; KARVAN, O.; KOROS, W.J. Unexpected Molecular Sieving Properties of Zeolitic Imidazolate Framework-8. **The Journal of Physical Chemistry Letters.** v. 3, p. 2130–2134, 2012.

[38] ZHANG, N.; YANG, X.; WANG, Y.; QI, Y.; ZHANG, Y.; LUO, J.; CUI, P.; JIANG, W. A review on oil/water emulsion separation membrane material. **Journal of Environmental Chemical Engineering.** v. 10, p. 107257, 2022.

[39] ZHOU, Y.B.; TANG, X.Y.; HU, X.M.; FRITSCHI, S.; LU, J. Emulsified oily wastewater treatment using a hybrid-modified resin and activated carbon system. **Separation and Purification Technology.** v. 63, p. 400-406, 2008.

[40] ZUO, J.H.; GU, Y.H.; WEI, C.; YAN, X.; CHEN, Y.; LANG, W.Z. Janus polyvinylidene fluoride membranes fabricated with thermally induced phase separation and spray-coating technique for the separations of both W/O and O/W emulsions. **Journal of Membrane Science.** v. 595, p. 117475, 2020.

Capítulo 14

Responsabilidade civil do empregador pela morte do empregado por intoxicação crônica devido à exposição química a organoclorados (poluentes orgânicos persistentes)

Paulo José Ferraz de Arruda Júnior

Resumo: O presente trabalho objetiva demonstrar a responsabilidade civil da indústria sobre a intoxicação crônica devido à exposição química aos compostos organoclorados, sobretudo aos que são lipossolúveis e biopersistentes, em especial o hexaclorobenzeno, substâncias tóxicas regidas pela Convenção de Estocolmo sobre Poluentes Orgânicos Persistentes (POPs) responsáveis por causarem uma série de doenças, entre elas o câncer, e até a morte de trabalhadores. O tema é complexo, afinal, a contaminação química é invisível e requer ser tratada por profissionais especializados para a comprovação do nexo de causalidade entre a exposição aos compostos organoclorados e as doenças que podem ser desencadeadas pelo contato com os agentes tóxicos. Os organoclorados são compostos químicos extremamente perigosos à saúde humana, portanto as empresas devem proteger todos os empregados de modo que que não fiquem expostos a esses agentes. O presente trabalho foi elaborado através de pesquisa de natureza básica e com objetivo descritivo, realizando uma abordagem qualitativa. Neste artigo, realizou-se uma profunda pesquisa jurisprudencial, doutrinária e de saúde sobre o tema, demonstrando os perigos desses compostos organoclorados para saúde humana, e apontando o dever de reparar os danos causados pela morte dos trabalhadores expostos a tais agentes organoclorados tóxicos, em especial o hexaclorobenzeno.

Palavras-chave: Poluentes Orgânicos Persistentes, Organoclorados, Intoxicação Crônica, Responsabilidade civil, Indenização.

1. INTRODUÇÃO

Vários são os casos de poluição ambiental industrial por produtos, substâncias e composto químicos, que geram danos não apenas ao meio ambiente, mas também atingem homens e mulheres, em especial aqueles que trabalham para a indústria química, sobre os quais, uma vez expostos e intoxicados, recaem prejuízos irreparáveis. Além disso, há que notar que as indústrias responsáveis pela produção de substâncias químicas, em sua maioria, detêm grande poder econômico, fator este que dificulta denúncias ou qualquer outro tipo de providência no intuito de haver maior cuidado para com a manipulação destes produtos.

A importância do tema abordado, portanto, decorre, principalmente, da possibilidade de este tornar-se um mecanismo criador de condições jurídicas que, unindo-se aos conhecimentos científicos, químicos e legais, possibilitarão o aparecimento da ligação entre a produção de substâncias químicas e os danos causados pela poluição decorrente desta atividade, ou seja, a configuração da responsabilidade civil.

Então, falar em responsabilidade dos poluidores, devido às emissões ambientais de poluentes orgânicos persistentes, especificamente do hexaclorobenzeno da família dos organoclorados, significa possibilitar a punição de grandes corporações multinacionais e centros de poder, e, de outro lado, garantir a reparação dos danos causados aos trabalhadores e trabalhadoras.

Dentre os produtos químicos existentes causadores de danos ao meio ambiente, aos trabalhadores e a pessoas que sofreram exposição a eles, iremos tratar dos Poluentes Orgânicos Persistentes (POPs), regulados por uma Convenção de Estocolmo (BRASIL, 2009) ratificada pelo Brasil e por mais 152 países, mais especificamente sobre os compostos químicos organoclorados, também denominados substâncias ou agentes químicos da família dos organoclorados.

O problema da contaminação química é extremamente grave, e sua discussão não é recente. Em 1962, no livro “Primavera Silenciosa” (Silent Spring), Rachel Carson lançou a primeira advertência sobre os perigos dos organoclorados. O alerta de Carson era claro: presentes em pesticidas, solventes, plásticos e outros produtos químicos, os organoclorados (toxinas resultantes da combinação de cloro e gases petroquímicos, matéria orgânica) poderiam contaminar o organismo de todos os seres vivos do planeta, assim como o ar, os lagos, os oceanos, os peixes que nele vivem e as aves que deles se alimentam.

Vale ressaltar que pesquisas científicas e profissionais das áreas da saúde e da química afirmam que os contaminantes organoclorados, especialmente o hexaclorobenzeno, possuem características químicas muito peculiares, tais como a biopersistência, bioacumulação e biomagnificação (LISBOA, 2009, p. 59). Isto é, uma vez disponibilizado no ambiente, ele atinge a cadeia trófica e as pessoas, direta ou indiretamente, permanecendo no organismo por todo a vida; ao atingir a corrente sanguínea, ele deposita-se no tecido adiposo e em diversos órgãos e pode, por meio do catabolismo, voltar para a corrente sanguínea em teores elevados. Ademais, os agentes organoclorados, como o hexaclorobenzeno e outros, além de serem comprovados perturbadores do sistema hormonal, causam uma lista interminável de doenças, inclusive o câncer, que podem levar ao óbito.

2. LITERATURA MÉDICA SOBRE A RELAÇÃO EXISTENTE ENTRE HCB E O CÂNCER

Pontillo *et al*. (2013) apresentaram evidências que o hexaclorobenzeno aumenta o crescimento do tumor subcutâneo em modelos in vivo, além disso observaram que o HCB estimulou a metástase pulmonar independentemente do status do receptor hormonal do tumor.

Além disso, Miret *et al*. (2019) concluíram que a presença e a bioacumulação de HCB em tecidos com alto teor de gordura e durante janelas de tempo altamente sensíveis, como gravidez, infância e adolescência, tornam a exposição um fator de risco para o desenvolvimento de tumores de mama.

Dich *et al*. (1997) apontam evidências epidemiológicas sobre a relação entre pesticidas químicos e câncer em estudos com animais: muitos pesticidas são cancerígenos, como exemplo, organoclorados, creosoto e sulfalato. Estes estudos associaram inseticidas organoclorados com STS, linfoma não-Hodgkin (LNH), leucemia e certa consistência com câncer de pulmão e mama.

Attaullah *et. al*. (2017) concluíram que os pesticidas organoclorados estão positivamente associados ao risco de diversos tipos de câncer em humanos. Os níveis séricos de pesticidas organoclorados podem aumentar com a gravidade da doença devido à perda de conteúdo de gordura. A relação dos pesticidas organoclorados com vários tipos de câncer em humanos é importante e inegável.

Com base na ficha de informações sobre substâncias perigosas de n.º RTK 0978, do Departamento de Saúde do Estado de New Jersey, instituição americana respeitada mundialmente, muitos cientistas acreditam que não há nenhum nível seguro de exposição a um carcinógeno. Além disso, segundo a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos, todo nível de exposição a produtos químicos é perigoso, visto que mesmo a menor dose de substância química, presumivelmente, pode causar câncer (Colborn, 2002).

Ademais, há decisões judiciais segundo as quais a simples contaminação por hexaclorobenzeno é considerada dano. O ministro Cláudio Mascarenhas Brandão, do Egrégio Tribunal Superior do Trabalho (processo: TST-AIRR-30200-18.2006.5.02.0254) entende que a contaminação do trabalhador por substância cancerígena decorrente da exposição durante o trabalho, mesmo sem comprovação do desenvolvimento de doença, por si só, já permite o reconhecimento do direito à reparação.

Em outro caso, o Egrégio Tribunal Regional do Trabalho da 2ª Região, determinou, no Recurso Ordinário nº 119-42.2013.5.02.0254, o seguinte:

> (...) Ao contrário do decidido pelo MM. Juiz de origem entende que a contaminação, por si só, corresponde ao dano sofrido pelo autor, sendo que as manifestações de eventuais doenças geram o agravamento desse dano.
>
> (...)
>
> Dessa forma, o não cumprimento das obrigações necessárias à prevenção do adoecimento demonstra negligência e omissão da ré quanto às normas de segurança, e saúde do trabalho (...).

Desses excertos, extrai-se que a simples contaminação por substância química organoclorada já é dano, portanto, indenizável. Uma vez comprovada a contaminação do

obreiro, é inevitável a conclusão de que está presente o nexo de causalidade, que identificamos na seguinte cadeia lógica:

a) a atividade desempenhada pelo empregado na empresa expunha-o à substância hexaclorobenzeno;

b) a substância hexaclorobenzeno fora detectada no organismo do obreiro;

c) a substância em questão, hexaclorobenzeno, é notadamente cancerígena, e, se não foi a única causa, certamente agregou elementos à enfermidade.

Portanto, demonstrado que as atividades desenvolvidas pelo obreiro na empresa contribuíram para o surgimento ou o agravamento das patologias, caracterizado está o nexo de concausalidade, e, portanto, surge o dever de reparar os danos sofridos. Em última análise, a contaminação por hexaclorobenzeno deve ser considerada, no mínimo, uma concausa, que provavelmente desencadeou a morte do empregado.

Corroborando com essa tese, a legislação previdenciária acolhe a teoria da concausa, dispondo no artigo 21, inciso I, da Lei nº 8.213/1991, que se equipara também ao acidente de trabalho:

> O acidente ligado ao trabalho que, embora não tenha sido a causa única, haja contribuído diretamente para a morte do segurado, para redução ou perda da sua capacidade para o trabalho, ou produzido lesão que exija atenção médica para a sua recuperação. (Brasil, 1991).

2.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS E TOXICOLÓGICAS DOS POPS ORGANOCLORADOS

Além dos efeitos deletérios dos poluentes orgânicos persistentes na flora, na fauna e nos organismos dos seres humanos, esses compostos químicos apresentam uma persistência no meio ambiente e no organismo dos seres vivos. Ela é definida pelo tempo que o produto demora para perder, pelo menos, 95% de sua atividade sob condições naturais. Vários compostos químicos organoclorados são considerados persistentes no meio ambiente, biopersistentes, bioacumulativos e lipossolúveis no corpo de animais e humanos.

Os organoclorados podem estar disponíveis em vários compartimentos ambientais, no solo, no ar e na água, assim como em produtos e alimentos de uso e consumo. Portanto, várias são as rotas de exposição e contato pelas quais esses produtos podem penetrar nos organismos de animais e humanos, fazendo com que os tecidos gordurosos sejam verdadeiros compartimentos de acumulação dessas substâncias.

Os organoclorados fazem parte de uma classificação denominadas Poluentes Orgânicos Persistentes (POPs). Eles são considerados persistentes no meio ambiente e demoram muitos anos para degradar tornando os territórios contaminados impróprios para moradia e produção de alimentos (animal ou vegetal). Os organoclorados podem ser voláteis e semivoláteis, sendo que ambos volatilizam-se com muita facilidade. Isto mostra a facilidade que o hexaclorobenzeno tem de se dispersar no meio ambiente e atingir, contaminar e intoxicar as pessoas.

Os processos de absorção dos organoclorados podem ser diretos (contato direto com o produto químico) e indiretos (contato através de produtos e alimentos contaminados). As concentrações mais altas de organoclorados são encontradas nos animais que ocupam o topo da cadeia alimentar, em razão da biomagnificação, ou seja, aumento geométrico da

concentração de uma substância no corpo dos animais à medida em que percorre a cadeia alimentar.

Sendo assim, os seres humanos, estando no ponto mais alto da cadeia trófica, são os que recebem a maior carga dessas substâncias pela rota alimentar, ficando expostos à latência da intoxicação crônica até o desencadeamento de problemas de saúde. Soma-se a isso o fato de que o nível de efeito deletério de um composto químico pode ser potencializado por outras substâncias presentes no organismo, não necessariamente tóxicas.

3. DA APLICAÇÃO DA TEORIA DO RISCO INTEGRAL

Não há dúvida que o Estado tem a obrigação de criar regras, e protocolos que tutelem a saúde dos trabalhadores no meio ambiente do trabalho. O artigo 196 da Constituição Federal determina que "a saúde é direito de todos e dever do Estado", ficando obrigado a criar políticas públicas que visem a redução de doenças.

O local de trabalho deve assegurar aos trabalhadores condições dignas do exercício da atividade, tutelando o direito à vida dos trabalhadores, e a dignidade da pessoa humana, assim como determinado nos artigos 1, inciso III, e 196 da Constituição Federal.

A Consolidação das Leis do Trabalho dedicou no Capítulo V as questões de higiene e segurança do trabalho. No artigo 157 da CLT há determinação expressa para que as empresas cumpram, e façam cumprir as normas de segurança, e medicina do trabalho, instruindo seus funcionários quanto às precauções a tomar, no sentido de evitar doenças do trabalho.

Não resta dúvidas que, tão importante quanto fornecer o EPIs aos funcionários é capacitá-los e orientá-los para que saibam utilizá-los corretamente.

As empresas químicas, em seu processo produtivo, não consideram adequadamente o risco da exposição de seus produtos à saúde dos trabalhadores e se omitem no seu dever de garantir um local de trabalho seguro aos trabalhadores. A atividade empresarial das empresas químicas é uma atividade perigosa, portanto, entendemos que deve ser aplicada a teoria do risco integral. Ao aprofundar o tema, deve-se considerar que o ramo de atividade dessas empresas apresenta risco acentuado de contaminação, pelo que não há como eximi-la de sua responsabilidade.

Neste sentido, em 2014, o Tribunal Regional do Trabalho da 7ª Região aplicou a Teoria da Responsabilidade Civil Objetiva, responsabilidade civil integral, num caso de intoxicação crônica, processo número: 0129000-52.2009.5.07.0023, condenando uma multinacional pela morte de um trabalhador rural, que foi exposto cronicamente e intoxicado por agrotóxicos. O próprio Código Civil (BrasiL, 2002), no artigo 927, parágrafo único, dispõe que há obrigação de reparar o dano, independentemente de culpa, nos casos especificados em lei, ou quando a atividade ou a condição a que fora exposto o empregado implicar, por sua natureza, risco para os direitos de outrem.

Um dos problemas enfrentados na seara da responsabilidade civil ambiental é o nexo de causalidade, onde na maioria das situações o dano ambiental pode ser fruto de inúmeras causas. Antonio Herman Benjamin assim trata do assunto:

"As dificuldades da determinação da fonte poluidora entre as tantas ,fontes de poluição da mesma substancia". Aqui cuida-se da comprovação da relação causal entre a fonte e dano (identificação entre os vários agentes , daquele cuja ação ou omissão está em conexão com o dano). O fato de muitas dessas substancias não serem sequer visíveis ou

perceptíveis pelos sentidos comuns, o caráter sorrateiro e inconsciente da exposição e o longo período de latência , tudo contribui para que a identificação do autor seja um objeto remoto, nem sempre podendo o autor afirmar , com certeza , onde e quando a exposição ocorreu.

O assunto é tormentoso, sendo que um dos problemas é a dificuldade de determinação da origem do dano ambiental ou dos males que a vítima apresenta. Raramente só um agente tóxico é a única fonte de um determinado dano ambiental ou doença. Nesta fase, o que se quer saber é se aquela substancia ou atividade particular previamente identificada, foi mesmo a causa efetiva do prejuízo: é a verificação do nexo causal entre a substancia perigosa ou tóxica e danos (identificação do modus operandi da causação do dano pela conduta do agente) (Benajamin,1993).

A fixação de limites de tolerância, somado ao modelo tradicional de responsabilidade civil, que exige a comprovação do dano, que esse dano seja decorrente da exposição pelo produto químico intoxicante (nexo de causalidade), a percepção do conceito de dano reparável (o que deve ser reparável?), as políticas públicas, normas, tudo isso acaba por criar obstáculos para responsabilização civil por contaminação química.

O empresário que se propõe a constituir uma empresa que pode oferecer riscos na execução das atividades e contrata pessoas para executar estas atividades, beneficiando-se dos lucros gerados, coloca o empregado em condição de risco. Portanto, a este empregador devem ser atribuídos os riscos do negócio, assim como os danos resultantes dos acidentes também deverão ser por ele suportados.

Segundo a Teoria do Risco Integral, para haver responsabilização civil, devem-se estar presente os seguintes requisitos: conduta, nexo de causalidade e dano.

Entende-se por conduta, o comportamento humano voluntário, que se exterioriza através de uma ação ou omissão, produzindo consequências jurídicas. O elemento primário de todo ato ilícito mostra-se presente na omissão no dever de cautela e segurança do trabalho, conduta esta que pode resultar na morte da vítima.

A existência do requisito dano igualmente faz-se presente ante à perda do ente querido (trabalhador da empresa química), pai, esposo e avô, única fonte segura de sustento da família, ou a simples contaminação por organoclorado.

No que concerne ao nexo causal, também não há controvérsia no sentido de que o óbito decorrente da contaminação química por POPs tem como causa as doenças advindas da exposição sofrida ou do agravamento das doenças em razão da das substâncias químicas, havendo clara relação de causa e efeito.

Ainda neste sentido, a CLT (BrasiL, 1943), no artigo 157, elenca as obrigações das empresas, dentre elas cumprir as normas de segurança do trabalho. Em harmonia com a tese acima, o Tribunal Regional do Trabalho assim decidiu:

> "(...) Outrossim, quanto ao ambiente de trabalho, é cediço que cabe ao empregador a adoção de medidas capazes de evitar acidentes de trabalho e doenças ocupacionais (art. 157 da CLT). Inclui-se entre os deveres que são a ele atribuídos, por força do contrato de trabalho, o de segurança, que implica na necessidade de dotar o contexto laboral dos mecanismos, equipamentos, práticas e rotinas necessárias à preservação da higidez física e mental dos empregados e de tantos quantos nele possam mourejar." (AIRR-30200-18.2006.5.02.0254, 7ª Turma, Relator Ministro Claudio Mascarenhas Brandao, DEJT 06/03/2017).

É oportuno destacar a lição do Exmo. Juiz Sebastião Geraldo de Oliveira:

> No caso de acidente do trabalho, haverá culpa do empregador quando não foram observadas as normas legais, convencionais, contratuais ou técnicas de segurança, higiene e saúde do trabalho. É obrigação legal da empresa cumprir e fazer cumprir tais normas, instruindo os empregados quanto às precauções a tomar, no sentido de evitar acidentes do trabalho ou doenças ocupacionais, prestando informações pormenorizadas sobre os riscos da operação a executar e do produto a manipular. (...) a ausência de fiscalização das condições de trabalho e da implementação das medidas para neutralizar ou eliminar os agentes perigosos ou nocivos caracteriza culpa in vigilando, ou seja, o descuido do dever de velar pelo cumprimento da norma, ou mesmo culpa in omittendo, diante da omissão ou indiferença patronal. (OliveirA, 2001).

Deve ser considerado ainda o contido nas NRs nos 25, 09, 07, entre outras, as quais, se cumpridas, a exposição aos agentes químicos poderiam ter sido minimizados ou mesmo evitados

Podemos citar duas decisões judiciais (Recurso de Revista N° TST-E-ED-RR-64440-93.2007.5.02.0255. e a apelação TRT02 1000236-07.2022.5.02.0252) que condenaram o empregador a reparar os prejuízos causados por contaminação química organoclorada, câncer e morte do obreiro.

Na primeira (Recurso de Revista N° TST-E-ED-RR-64440-93.2007.5.02.0255), assim foi decidido:

> A Turma conheceu do recurso de revista, por violação do parágrafo único do artigo 927 do Código Civil, e, no mérito, deu-lhe provimento para condenar a reclamada ao pagamento, aos dependentes do de cujus, de pensão mensal e indenização por danos morais. No caso, foi diagnosticada neoplasia maligna de pulmão (câncer de pulmão) como causa da morte do trabalhador, o qual trabalhou a como encanador, efetuando "serviços de reparos em tubulações, bombas e outros equipamentos, tanto na área de manutenção, como na área de fabricação", em unidade da empresa reclamada onde eram produzidos pesticidas.

Nas duas decisões, foi reconhecida a legitimidade da viúva na propositura da demanda, assim como ação/omissão, nexo de causalidade e dano, e a procedência do pedido de indenização em caso de morte por contaminação por substâncias compostas quimicamente da família dos organoclorados.

3.1. DA POSIÇÃO DOS TRIBUNAIS SOBRE O NEXO CAUSAL EXISTENTE ENTRE OS COMPOSTOS ORGANOCLORADOS E O ÓBITO DO OBREIRO

A preocupação com a segurança no local onde o ser humano permanece não é recente. Na Bíblia, em Deuteronômio, capítulo 22, versículo 8 assim está escrito:

> "Quando construíres uma nova casa, fara uma balaustrada em volta do teto, para que não derrame sangue sobre sua casa, se viesse alguém a cair lá de cima".

Esse trecho mostra a importância da proteção nos locais onde o ser humano frequenta. Neste sentido os princípios ambientais passam a ter relevância, em especial da prevenção e da precaução.

A interação entre saúde, e meio ambiente do trabalho vem assumindo crescente importância, sobretudo na sociedade moderna, vez que relacionados, de forma transversal, com a preservação da vida humana.

Inicialmente, ressalta-se que o produto químico pelo qual o obreiro fora contaminado é extremamente perigoso à saúde e à vida humana. Isso fica evidente na medida em que o Tribunal Superior do Trabalho já reconheceu que a simples contaminação pelo produto químico é dano.

A exposição do ser humano ao produto causa danos, na medida em que a exposição intoxica cronicamente o indivíduo, colocando-o numa situação de latência perigosa no desenvolvimento de diversas doenças de difícil ou remota cura, várias tratadas com paliativos, em razão das característica da intoxicação. Logo, a simples contaminação já é dano.

Em duas decisões recentes, por Tribunais da Justiça especializada trabalhista, sobre a contaminação por Poluentes Orgânicos Persistentes, ficou decidido que a simples contaminação já implicaria no dever de indenizar, nos processos do TRT-02 nº 0000119-42.2013.5.02.0252 e do TST-AIRR-30200-18.2006.5.0254, 7ª Turma.

Ressalta-se que os ministros do TST, ao analisarem caso que tratava de exposição de Organoclorado, entenderam que eventuais concausas preexistentes "não eliminam a relação causal, considerando como tais aquelas que já existiam, quando da conduta do agente, que são antecedentes ao próprio desencadear do nexo causal" (TST-AIRR-30200-18.2006.5.0254, 7ª Turma).

Segundo o r. acórdão, "a contaminação por hexaclorobenzeno deve ser considerada uma concausa, que provavelmente desencadeou a morte do empregado" (RECURSO DE REVISTA Nº 644/2007-255-02-40.0).

Desse modo, o nexo causal entre a contaminação, o trabalho e a doença é evidenciado da exposição inicial, da réplica, até a presente impugnação. Os tribunais superiores assim se posicionam quanto ao tema:

> ACIDENTE DO TRABALHO. FALECIMENTO DO EMPREGADO. INDENIZAÇÃO POR DANOS MORAIS REFLEXOS. O acidente do trabalho, que tem como resultado o falecimento do empregado, certamente repercute no núcleo familiar da vítima, projetando seus reflexos dolorosos sobre todos aqueles que tinham vínculo afetivo com o de cujus. Reparação dos danos morais que se impõe.(TRT-4 - REMNECRO: 00201556520165040571, Data de Julgamento: 11/03/2021, 2ª Turma).

3.2. AÇÕES DAS CORPORAÇÕES

Assuntos relacionados à responsabilidade social e socioambiental são cada vez mais discutidos em nossa sociedade, frutos das crescentes preocupações da população com os empreendimentos corporativos que comportam alto potencial de risco ambiental. Uma corporação pode ser compreendida como uma empresa ou grupo de empresas de grande porte e de forte presença em um ou mais setores da atividade industrial, comercial, agrícola ou de serviços (Houaiss, 2014).

A questão da terminologia necrocorporações, tem sido debatida, entendendo-se que estaria mais adequando o tema à má conduta coorporativa e à ilegalidade corporativa (Baucus, 1994).

O conceito de ética existente da era moderna, quando o trabalho duro, mesmo causando problemas à saúde, era bem visto pela sociedade, pois valorizava-se sobremaneira o trabalho, parece ainda existir nas grandes corporações (Bauman,1999).

Atualmente as corporações transnacionais, em razão de seu poder econômico e político, assumiram uma importância na sociedade contemporânea não existente no passado, gerando questionamentos quanto a sua atuação e suas responsabilidades (Medeiros, 2013).

Analisando o contexto norte-americano, Barley (2007) destaca a força das corporações, afirmando que "as organizações alteraram e continuam a alterar as instituições sociais – e até mesmo a democracia não está isenta" dessas influências. Conforme a análise do autor, as corporações, em razão do poder econômico, conseguem influenciar a elaboração de legislações que irão beneficiá-las de alguma forma.

Segundo Lucas (2003), o poder das transnacionais chegou até a Organização das Nações Unidas (ONU), o que acabou lhes dotando de liberdade por meio do denominado *Global Compact*, da qual fazem parte algumas das principais empresas transnacionais do mundo, como a British Petroleum, a Shell, a Nike, a Nestlé e outras. De acordo com autora, a ONU justifica o ato como uma medida para corrigir os desequilíbrios da globalização, mas, ainda de acordo com o Autor, a medida foi, na verdade, um pacto para garantir a

> promiscuidade entre empresas e um organismo internacional como a ONU, que, de resto, já em 1993 suprimira organismos criados para manter um controle sobre as atividades das multinacionais, especialmente na área social. (Lucas, 2003).

Em sua tese de doutorado intitulada "Inimigos Públicos: Crimes Corporativos e Necrocorporações", Medeiros (2013, p. 127) analisa casos que lhe permitiram nominar os crimes corporativos da seguinte maneira:

> aquela corporação, transnacional ou não, que se utiliza do poder discursivo-institucional, econômico e ideológico para intervir na sociedade e "subjugar a vida ao poder da morte" com suas práticas visando à acumulação e, consequentemente, coloca o lucro e suas operações acima da vida. (Medeiros, 2013, p. 127).

Esse conceito, não generalizável, leva ao conceito de um tipo de crime corporativo específico, que são os crimes corporativos contra a vida, "aqueles cometidos por

corporações ou em seu benefício, que colocam o lucro e seus objetivos acima da vida, resultando, assim, em danos à vida e na morte" (Medeiros, 2013).

O processo existente na indústria química, inadequadamente avaliado quanto às suas complexas interfaces de riscos (ambiental, social e econômico), tem gerado preocupação mundial. Diversos casos são classificados como acidentes ambientais ampliados, com alto potencial lesivo à saúde das pessoas. Sob esta ótica as empresas continuam operando e lucrando, mesmo causando doenças e mortes a terceiros.

Em virtude da sua persistência e dispersão global, os poluentes orgânicos persistentes atingem camadas populacionais que não contribuem para as suas emissões. Além disso, afetam o estado do ambiente em detrimento de gerações futuras. O risco de contaminação é real para o trabalhador da indústria química, assim como para terceiros, não é fruto de decisão pessoal daquele exposto na área de influência, os atingidos. Ademais, aquele que corre o risco não apenas não o criou, como muitas vezes nada pôde fazer para evitá-lo, uma vez que o controle do risco e das consequências não está sob o seu domínio, mas das corporações.

O *modus operandi* que ocasiona a contaminação química dos trabalhadores dessas empresas transnacionais pode ser explicado da seguinte maneira:

> A morte é produzida nas instalações da planta industrial da corporação com as seguintes armas: o processo de produção, incluindo as condições de trabalho; o produto e as substâncias utilizadas na sua elaboração; e a falta de informações acerca dos perigos e riscos a que trabalhadores e a população estão expostos frente às operações da corporação. As vítimas são trabalhadores e ex-trabalhadores, moradores, a fauna e a flora. Não se pode afirmar que as vítimas sejam apenas aquelas que se situavam no local ou nas proximidades, já que não é possível dimensionar o alcance da contaminação. (Medeiros; Alcadipni, 2013).

Em contrapartida, falta de formação técnica, conhecimento e preparo para lidar com as situações complexas de contaminação e intoxicação crônica por poluentes incisivos sazonais e/ou persistentes, podem ocasionar omissões da administração pública na fiscalização das indústrias químicas e as concessões de licenças de funcionamento.

As transnacionais escolhem o local onde irão se instalar de acordo com critérios facilitadores de sua atividade, em geral em ambientes de negócios que favoreçam a mão de obra qualificada a um custo baixo e pela baixa regulamentação trabalhistas . Assim, os cidadãos, mais fracos economicamente perdem seu poder na sociedade, e as corporações estabelecem o seu domínio, direcionando a sociedade na direção de seus interesses, levando a prejuízos e desastres (Silveira; Medeiros, 2014).

Nesse contexto, o modo como algumas corporações exercitam o seu poder e as consequências danosas sofridas por suas vítimas são, muitas vezes, invisíveis à sociedade e, por fim, colaboram para que esses acontecimentos sejam compreendidos como inevitáveis, acidentais.

As organizações químicas têm um lado que requer ser iluminado pela razão, qual abriga as práticas corporativas que provocam prejuízos à sociedade de modo geral (Banerjee, 2008). Nesse contexto, questiona-se o papel do Estado frente a esse problema e qual sua responsabilidade, quando se omite ou mesmo exerce seu poder de polícia de forma

deficiente, viabilizando que as corporações atuem livremente, sem um rígido e eficaz controle.

O comportamento das corporações que, em sua atividade, gerem riscos para a vida das pessoas, precisam ser observadas com mais cautela, impondo uma responsabilidade ao Estado para que este dê uma resposta rápida, uma vez que vidas podem estar em risco, direitos humanos, sendo violados.

4. DA LEGITIMIDADE ATIVA DOS HERDEIROS PARA PROPOR AÇÃO INDENIZATÓRIA

Vale frisar que o dano moral, conquanto de natureza personalíssima, inato aos direitos da personalidade, possui repercussão social e proteção constitucional. A personalidade do obreiro falecido também é objeto de direito, na medida em que o direito de reclamar perdas e danos do de cujus transmite-se aos sucessores, a teor dos artigos 12, parágrafo único, e 943 do Código Civil (Brasil, 2002), que assim dispõem:

> Art. 12. Pode-se exigir que cesse a ameaça, ou a lesão, a direito da personalidade, e reclamar perdas e danos, sem prejuízo de outras sanções previstas em lei.
>
> Parágrafo único. Em se tratando de morto, terá legitimação para requerer a medida prevista neste artigo o cônjuge sobrevivente, ou qualquer parente em linha reta, ou colateral até o quarto grau.
>
> (...)
>
> Art. 943. O direito de exigir reparação e a obrigação de prestá-la transmitem-se com a herança. (Brasil, 2002).

Nesse passo, consideremos as lições de Maria Helena Diniz (2010):

> Os lesados indiretos pela morte de alguém serão aqueles que, em razão dela experimentarem um prejuízo distinto do que sofreu a própria vítima. Terão legitimação para requerer indenização por lesão a direito da personalidade da pessoa falecida, o cônjuge sobrevivente, o companheiro (Enunciado nº. 275 do CJF da IV Jornada de Direito Civil), qualquer parente em linha reta ou colateral até o segundo grau (CC, art. 12, parágrafo único) (Diniz, 2010, p. 88).

Consideremos também o entendimento do Colendo Tribunal Superior do Trabalho**:**

> LEGITIMIDADE ATIVA. DANO MORAL EM RICOCHETE. GENITORA E IRMÃOS DO EMPREGADO FALECIDO. ACIDENTE DE TRABALHO**.** A genitora e os irmãos do empregado falecido, vítima de acidente de trabalho, são partes legitimas para figurar no polo ativo da ação que tem por fim postular o pagamento de reparação por danos morais reflexos, também denominados "por ricochete". Recurso de revista conhecido e provido (TST - RR: 11406820135060019, relator: Cláudio Mascarenhas Brandão, Data de Julgamento: 5/6/19, 7ª turma, Data de Publicação: DEJT 14/6/19.

> AGRAVO DE INSTRUMENTO. RECURSO DE REVISTA. ILEGITIMIDADE ATIVA AD CAUSAM INDENIZAÇÃO POR DANO MORAL E MATERIAL INDIRETO OU EM RICOCHETE POSTULADA PELA ESPOSA E PELA FILHA DO EMPREGADO EM DECORRÊNCIA DE ACIDENTE DO TRABALHO QUE OCASIONOU A SUA MORTE. Segundo o entendimento deste Tribunal Superior, os herdeiros ou sucessores do empregado falecido são partes legítimas para figurar no polo ativo de ação de indenização por danos morais e materiais resultantes de sofrimento a eles causado em decorrência do óbito em acidente de trabalho. Precedentes. CONSTITUIÇÃO DE CAPITAL. A controvérsia não foi dirimida sob o enfoque do artigo 620 do CPC, tampouco o Tribunal Regional foi instado a fazê-lo mediante embargos de declaração, o que evidencia a ausência de prequestionamento, a atrair o óbice da Súmula 297 do TST. Assim, não desconstituídos os fundamentos do despacho denegatório, não prospera o agravo de instrumento destinado a viabilizar o trânsito do recurso de revista, conforme demonstrado no voto. Agravo de instrumento conhecido e desprovido. (TST - AIRR: 117017920175030057, Relator: Alexandre De Souza Agra Belmonte, Data de Julgamento: 07/10/2020, 3ª Turma, Data de Publicação: 09/10/2020).

Portanto, é certa a legitimidade ativa da esposa, ou herdeiros ao rogar pelos direitos de seu marido falecido que teve sua vida ceifada de maneira inesperada por desleixo de empresa poluidora.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Não resta dúvidas que o tema é importante, afinal muitos trabalhadores foram a óbito por doenças que podem ser atribuídas à intoxicação química por organoclorados, conforme consta em várias listas de doenças cientificamente elaboradas que podem ser assim relacionadas. O presente artigo tem por objetivo abordar a possibilidade de responsabilizar civilmente as empresas químicas que produzem esse produto, produzido de forma intencional ou não, e que acabam por expor seus trabalhadores a essas substâncias.

Os organoclorados são substâncias extremamente perigosas à saúde humana e ao meio ambiente, justificando que, por si só, merecem tratamento diferenciado junto ao Poder Judiciário nacional, pois empresas transnacionais, muitas necrocorporações causam danos à saúde de trabalhadores e ao meio ambiente.

Vários produtos e várias substâncias químicas organocloradas já foram listados como POPs pela Convenção de Estocolmo sobre Poluentes Orgânicos Persistentes, tendo, portanto, características físicas, químicas e toxicológicas específicas, assim como enorme potencial lesivo e causador ou agravador de centenas de doenças, até câncer, e provocador de óbito.

A responsabilidade civil do empregador pela reparação decorrente de danos morais e materiais causados ao empregado pressupõe a existência de três requisitos, quais sejam: a conduta (culposa, em regra), o dano propriamente dito (violação aos atributos da personalidade, no caso do dano moral) e o nexo causal entre esses dois elementos. O primeiro é a ação ou omissão de alguém que produz consequências às quais o sistema jurídico reconhece relevância.

É certo que esse agir de modo consciente é ainda caracterizado por ser contrário ao Direito, daí falar-se que, em princípio, a responsabilidade exige a presença da conduta culposa do agente, o que significa ação inicialmente de forma ilícita e que se distancia dos padrões socialmente adequados, muito embora possa haver o dever de ressarcimento dos danos, mesmo nos casos de conduta lícita.

Finalmente, o último elemento é o nexo causal, a consequência que se afirma existir e a causa que a provocou; é o encadeamento dos acontecimentos derivados da ação humana e os efeitos por ela gerados. Na hipótese, o Tribunal Regional e o próprio Tribunal Superior do Trabalho já decidiram que há nexo de causalidade entre o óbito do obreiro e a contaminação química por organoclorado, em especial o hexaclorobenzeno.

Ademais, como já abordado, a contaminação por substância cancerígena, decorrente dos serviços prestados à empresa, ainda que não haja a comprovação do desenvolvimento de doença com ela relacionada, possibilita, por si só, o reconhecimento do direito à reparação por danos morais.

Outrossim, quanto ao ambiente de trabalho, é cediço que cabe ao empregador a adoção de medidas capazes de evitar acidentes de trabalho e doenças ocupacionais (artigo 157 da CLT (BRASIL, 1943)). Inclui-se, entre os deveres que são a ele atribuídos, por força do contrato de trabalho, o de segurança, que implica na necessidade de dotar o contexto laboral dos mecanismos, equipamentos, práticas e rotinas necessárias à preservação da higidez física e mental dos empregados e de tantos quantos nele possam mourejar.

Dessa forma, o não cumprimento das obrigações necessárias à prevenção do adoecimento demonstra negligência e omissão da ré quanto às normas de segurança e saúde do trabalho. Evidenciado o dano, assim como a conduta culposa do empregador e o nexo causal entre ambos, deve ser mantido o acórdão regional que condenou a reclamada a indenizá-lo.

A legitimidade ativa para propor ação indenizatória está fundada no artigo 943 do Código Civil, que transmite aos herdeiros direito de exigir reparação. Ademais, há sólida jurisprudência fundada no direito ricochete que ratifica a legitimidade dos herdeiros na propositura da demanda.

REFERÊNCIAS

[1] ATTAULLAH, M.; YOUSUF M.J.; SHAUKAT S.; ANJUM, S.I.; ANSARI, M.J.; BUNERI, I. D.; TAHIR, M.; AMIN, M.; AHMAD, N.; KHAN, S. U. **Serum organochlorine pesticides residues and risk of cancer:** A case-control study. Saudi Journal of Biological Sciences. p. 1284 – 1290. Nov., 2018. DOI: 10.1016/j.sjbs.2017.10.023.Disponível em: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6252000/pdf/main.pdf.

[2] BANERJEE, S. B. **Voices of the governed:** Towards a theory of the translocal. Organization, v. 18, n. 3, p. 323-344, 2011.

[3] BARLEY, S. R. **Corporations, democracy, and the public good**. Journal of Management Inquiry, v. 16, n. 3, 2007. 214 p.

[4] BAUCUS, M. S.; NEAR, J. P. **Can illegal corporate behavior be predicted?** An event history analysis. The Academy of Management Journal, v. 34, n. 1, 1994.

[5] BAUMAN, Z. **As consequências da globalização.** Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1999

[6] BENJAMIN, Antonio Herman, Dano Ambiental: prevenção , reparação e prevenção .São Paulo: Ed. Revista dos Tribunais, 1997, p.456.

[7] BRASIL. Decreto-lei nº 5.452, de 1 de maio de 1943. **Aprova a consolidação das leis do trabalho.** Lex: coletânea de legislação: edição federal, São Paulo, v. 7, 1943.

[8] BRASIL. Lei nº 8.213, de 24 de julho de 1991. **Dispõe sobre os Planos de Benefícios da Previdência Social e dá outras providências.** Diário Oficial da União, seção 1, Brasília, DF, p. 14809, 1991.

[9] BRASIL. Lei nº 10.406, de 10 de janeiro de 2002. **Institui o Código Civil.** Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, ano 139, n. 8, p. 1-74, 11 jan. 2002. PL 634/1975

[10] BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Convenção de Estocolmo sobre Poluentes Orgânicos Persistentes (POPs):** Textos e Anexos. Brasília, DF. 2009, 31 p. Disponível em: https://antigo.mma.gov.br/estruturas/smcq_seguranca/_publicacao/143_publicacao16092009113044.pdf

[11] CARSON, R. **Primavera Silenciosa.** São Paulo: Editora Gaia, 1962.

[12] COLBORN, T. **O futuro roubado**. Porto Alegre: L&PM Editores, 2002.

[13] DICH J.; ZAHM SH; HANBERG A.; ADAMI H. O. **Pesticides and cancer.** Cancer Causes and Control. p. 420 – 443, May, 1997. PMID: 9498903. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1023/A:1018413522959.

[14] DINIZ, M. H. **Curso de Direito Civil Brasileiro.** 24ª ed. São Paulo: Saraiva, 2010, 88 p.

[15] HOUAISS Dicionários Eletrônicos. Instituto Antônio Houaiss. Ed. Objetiva Ltda, mai., 2014.

[16] LISBOA, M. **Ética e cidadania planetária na era tecnológica** – O Caso da Proibição da Basiléia. Rio de Janeiro: Editora Civilização Brasileira. 2009.

[17] LUCAS, Ana Glória. **Multinacionais: Um Poder Absoluto**. Publicação Eletrônica. Além-Mar. 2003. Disponível em https://www.alem-mar.org/cgibin/quickregister/scripts/redirect.cgi?redirect=EEFlkpVpElWMAYqyr g. Acesso em 10/08/2016

[18] MEDEIROS, Cíntia Rodrigues de Oliveira**, Inimigos Públicos: Crimes Corporativos e Necrocorporações,** 2013, Disponível https://pesquisa-eaesp.fgv.br/teses-dissertacoes/inimigos-publicos-crimes-corporativos-e-necrocorporacoes 15/02/2024

[19] MEDEIROS, Cintia Rodrigues de.; ALCADIPANI, Rafael. (2013) **Crimes Corporativos Contra a Vida e Necrocorporações**. XXXVII Encontro da ANPAD. Anais. 2013. Disponível em: <http://www.anpad.org.br/admin/pdf/2013_EnANPAD_EOR908.pdf> Acess o em: 27/05/2017.

[20] MIRET, N. V.; PONTILLO, C. A.; ZÁRATE, L. V.; PISAREV, D. K.; COCCA, C.; RANDI, A. S. **Impact of endocrine disruptor hexachlorobenzene on the mammary gland and breast cancer:** The story thus far. Environmental Research, v. 173, p. 330 – 341, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.03.054.

[21] OLIVEIRA, S. G. de. **Proteção Jurídica à Saúde do Trabalhador**. 3ª ed. São Paulo: LTr, 2001, 236 p.

[22] PONTILLO, C. A.; ROJAS, P.; CHIAPPINI, F.; SEQUEIRA, G.; COCCA C.; CROCCI, M.; COLOMBO, L.; LANARI, C.; KLEIMAN DE PISAREV, D.; RANDI, A. **Action of hexachlorobenzene on tumor growth and metastasis in different experimental models.** Toxicol Appl Pharmacol. p. 331 – 342. May, 2013. PMID: 23462309.

Autores

AUTORES

JOSÉ HENRIQUE PORTO SILVEIRA (ORGANIZADOR)

Bacharel e licenciado em Psicologia pela UFMG, Especialização em Percepção e Planejamento Urbano. Mestre em Gestão e Auditoria Ambiental, especialização em educação ambiental. Consultor em percepção e educação ambiental. Sócio diretor da Alternativa Educação e Manejo Ambiental.

ALÉCIO PERINI MARTINS

Doutor (2015), Mestre (2009), Licenciado e Bacharel (2007) em Geografia pelo Instituto de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia. Realizou estágio pós-doutoral no Programa de Pós-Graduação em Geografia Física da Universidade de São Paulo (2019-2020). Bolsista de Produtividade em Pesquisa nível 2 do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (2022-2025). Atualmente, ocupa os cargos de Diretor de Inovação e Pró-reitor Adjunto de Pesquisa e Inovação da Universidade Federal de Jataí. Docente nos cursos de Graduação e Pós-graduação em Geografia da UFJ e credenciado no Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFU/Pontal. É líder do grupo de pesquisa "Monitoramento e modelagem ambiental por geoprocessamento" e possui experiência na área de Geografia Física, atuando principalmente nos seguintes temas: Geocartografia, Geoinformação, Modelagem em Geografia Física, Agricultura de Precisão, Planejamento Ambiental e Climatologia Geográfica.

BARBARA RENTES BARBOSA

Gestora Ambiental ESALQ/USP, atual Doutoranda na área de Geoprocessamento e Planejamento Ambiental no Programa de Planejamento e Uso de Recursos Renováveis no Departamento de Ciências Ambientais da Universidade Federal de São Carlos/ Campus Sorocaba.

BRUNA SOARES XAVIER DE BARROS

Pós-Doutorado pela FCA / UNESP (Energia na Agricultura) (2019). Ministrou a disciplina de Introdução ao Geoprocessamento e Topografia na FCA/UNESP para alunos de pós-graduação (2016 a 2018). Em 2014/2015, foi professora substituta da UNESP (Departamento de Engenharia Rural, FCA), Botucatu SP das disciplinas: Topografia I e Sensoriamento Remoto e Topografia II e Georreferenciamento Aplicado. Foi bolsista PROPe Recém-Doutor (Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, UNESP) em 2014. Doutorado em Agronomia - Energia na Agricultura pela Faculdade de Ciências Agronômicas - UNESP (2013). Doutorado Sanduíche na Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Portugal (2012). Mestrado em Agronomia - Energia na Agricultura pela Faculdade de Ciências Agronômicas - UNESP (2010) e graduação em Sistemas de Informação pela Universidade do Sagrado Coração (2007). Foi professora de Topografia da Faculdade GranTietê (Barra Bonita SP). Trabalhou na Faculdade Galileu (Botucatu SP) ministrando as disciplinas de Topografia, Administração em Sistemas de Informação I e Informática Aplicada a Saúde. E, (2015 a 2022) foi professora das disciplinas de Topografia; Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento; Geoprocessamento e Georreferenciamento para alunos de graduação no Centro Universitário UniFsp (Avaré SP). Em 2023, foi professora conferencista das disciplinas de Informática aplicada à agricultura e de Informática para os cursos de graduação em Engenharia Agronômica e Engenharia Florestal da Faculdade de Ciências Agronômicas na Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (FCA/UNESP). Atualmente (2024), é professora substituta da UNESP (Departamento de Engenharia Rural e Socioeconomia, FCA), Botucatu SP das disciplinas: Topografia e Geotecnologias Aplicadas às Ciências Agrárias.

CARIN VON MÜHLEN

É bacharel em Química pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (2000), mestre em Ciências (Química Analítica) pela Universidade de São Paulo (2003) e doutora em Química (Analítica) pela Universidade Federal do Rio Grande Sul (2007), tendo realizado doutorado sanduíche na RMIT, em Melbourne, na Austrália. Atua na área de Química Analítica Ambiental, Tecnologias Ambientais e Gestão ambiental. Atualmente é professora associada da Universidade do Estado do Rio de Janeiro na Faculdade de Tecnologia em Resende -RJ, professora do Mestrado e Doutorado em Engenharia

AUTORES

Ambiental - PEAMB e DEAMB, Diretora do Centro das Águas e Membro do Comitê da Bacia Hidrográfica da Região do Médio Paraíba do Sul. Coordenadora do Programa NOSOL - Programa Núcleo de observação, estudos e monitoramento socioambiental das regiões da Costa Verde, Baia de Sepetiba, Bacia do Rio Paraíba do Sul e Bacia do Rio Guandu. Coordenadora dos Projetos de Extensão Águas e NeuroTEC. Membro da Comissão de acessibilidade da UERJ e bolsista Pró ciência da UERJ.

CARLOS ALBERTO VETTORAZZI

Engenheiro Agrônomo pela ESALQ/USP onde realizou também seu mestrado e seu doutorado. Aposentou-se em abril de 2017 pelo Departamento de Engenharia de Biossistemas (anteriormente Engenharia Rural) da ESALQ/USP, área de Topografia e Geoprocessamento, onde atuou desde março de 1980. Suas principais linhas de pesquisa sempre estiveram relacionadas a aplicações de técnicas de Geoprocessamento em Ciências Agrárias e Ambientais.

CARLOS ERICK BRITO DE SOUSA

Doutor em Educação em Ciências e Matemática pela Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT). Professor Adjunto do Departamento de Biologia e docente permanente do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática (PPECEM) da Universidade Federal do Maranhão (UFMA). Líder do Grupo de Pesquisa em Educação, Divulgação Científica e Ambiente (DiCEA/UFMA).

DANIEL FADEL JÚNIOR

Engenheiro Florestal formado pela Universidade Federal do Acre, Amazônia. Atual mestrando na área de Geoprocessamento no Programa de Planejamento e Uso de Recursos renováveis, departamento de Ciências Ambientais da Universidade Federal de São Carlos/ Campus Sorocaba

DERICK MARTINS BORGES DE MOURA

Mestre e Doutor em Geografia pela Universidade Federal de Goiás. Graduado em Geografia pela Universidade Estadual de Goiás. Técnico em Mineração pelo Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Goiás. Tem experiência e atua nas áreas de Ensino de Geografia, Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Geotecnologias, Bacias Hidrográficas, Recursos Hídricos, Análise Ambiental Integrada, Prospecção Mineral e Geológica, Prospecção e Mapeamento de Atrativos Turísticos Naturais. Ministrou as disciplinas de Didática e Metodologia de Ensino em Geografia, Tecnologias em Educação, Cartografia Escolar, Geoprocessamento, Geografia da População, Geografia Política e Cultural, Abordagem Territorial do Cerrado, Geografia Regional e Geografia do Brasil no curso de Liceciatura em Geografia da Universidade Estadual de Goiás, Unidade Universitária de Iporá. Participa do projeto MAPBIOMAS, na vallidação de pontos através do Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento (Lapig) do IESA - Instituto de Estudos Socioambientais da UFG. Atualmente trabalha como Professor Substituto e Técnico Ambiental efetivo na Universidade Estadual de Goiás, Unidade Universitária de Iporá.

ÉVELYN MÁRCIA PÔSSA

Doutora em Geografia na área de concentração "Análise Ambiental" pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), mestre em Sensoriamento Remoto pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e graduada em Geografia pela Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ), tenho experiências no uso de Sensoriamento Remoto e outras geotecnologias aplicados à análise da paisagem tropical, de povos tradicionais e modelagem hidrológica. Conduzo investigações sobre a antropização da paisagem amazônica e do cerrado em Unidades de Conservação (UCs). Atuei junto à Secretaria do Patrimônio da União (SPU), no projeto de mapeamento dos terrenos marginais do Rio São Franscico, para minimização de pontos de tensão territorial. E também junto ao Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), na detecção de barragens de água do estado de Minas Gerais, para o apoio à gestão de áreas de conflito do uso da água. Tenho experiências na elaboração de livros e materiais didáticos na área da geografia, cartografia e análise espacial.

AUTORES

JÉSSICA CRISTINE COSTA CARVALHO

Graduada em Ciências Biológicas – Licenciatura pela Universidade Federal do Maranhão (UFMA) e Especialista em Educação Ambiental pela Escola Superior de Planejamento e Gestão (ESPG). Membro do Grupo de Pesquisa em Educação, Divulgação Científica e Ambiente (DiCEA/UFMA).

JULIANA ANGELO

Graduanda em Ecologia pela Universidade Estadual Paulista "Júlio de mesquita Filho", campus Rio Claro, atualmente desenvolve pesquisa de iniciação científica no Laboratório de Ecologia Espacial e Conservação (LEEC), no Departamento de biodiversidade, Institudo de Biociências. Atua principalmente nos temas de pagamento por serviços ambientais, serviços ambientais, comunidades tradicionais, pesquisa socioambiental e ecologia humana

KALINE DE MELLO

Bacharel em Ciências Biológicas pela Universidade Estadual Paulista (UNESP - Campus do Litoral Paulista, São Vicente/SP), mestra em Diversidade Biológica e Conservação pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar, Sorocaba/SP), Doutora em Ciências pelo programa de Engenharia de Sistemas Agrícolas da USP-ESALQ com período sanduíche na University of Massachusets (USA). Atualmente é pesquisadora na Charles Darwin University, Australia. Desenvolve pesquisa nas áreas de Planejamento Ambiental, Ecologia Aplicada, Geoprocessamento, Mudança no uso e cobertura do solo, Unidades de Conservação, Conservação da Biodiversidade, Manejo de Bacias hidrográficas, Recursos Hídricos, Modelagem hidrológica, Áreas prioritárias para conservação e restauração, Políticas ambientais e Código Florestal.

MARIANA BERALDI RIGONATO

Possui graduação em Ciências Biológicas pela Universidade Federal de São Carlos, mestrado em Biotecnologia e Monitoramento Ambiental pela Universidade Federal de São Carlos e doutorado pelo Programa de Planejamento e Uso dos Recursos Renováveis (UFSCar). Trabalhou com o tema pagamentos por serviços ecossistêmicos hídricos e atualmente leciona no ensino superior.

NICOLY GIROTTO MORAIS

Graduada em Geografia pela Universidade Federal de Jataí e mestranda do PPGGeo na mesma instituição. Foi bolsista PIBIC (2021-2023) e é aluna do grupo de pesquisa "Monitoramento e Modelagem Ambiental por Geoprocessamento" vinculado ao Laboratório de Geoinformação da UFJ. Atua em linhas de pesquisa na área de Geografia Física, com ênfase em Geotecnologias aplicadas à Análise Ambiental do Cerrado de Goiás.

NILO ANTÔNIO DE SOUZA SAMPAIO

Possui graduação em Engenharia Química pela Escola de Engenharia de Lorena EEL-USP (1994), mestrado em Engenharia Mecânica pela Universidade de Taubaté UNITAU (2005), doutorado em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho UNESP (2011). Atualmente é Professor Associado da Universidade do Estado do Rio de Janeiro atuando na graduação dos cursos de Engenharia, no Mestrado em Engenharia Ambiental (PEAMB) e no Doutorado em Engenharia Ambiental (DEAMB). Tem experiência na área de Matemática e Estatística, com ênfase em Aplicações da Estatística e da Matemática em Ciências, Modelamento Matemático, Otimização e Planejamento de Experimentos, Estatística Multivariada e Monitoramento de Processos.

RAFAELA SIMÕES ESPIRITO VIANA

Ensino médio realizado no Colégio Militar de Recife, atualmente cursando Engenharia Química na Universidade do Estado do Rio de Janeiro(UERJ - FAT), realizando Iniciação Científica com bolsa CNPQ.

AUTORES

RICARDO HIDEO TANIWAKI

Possui graduação em Ciências Biológicas pela Universidade Paulista, mestrado em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho e doutorado em Ecologia Aplicada pela Escola Superior de Agricultura ´Luiz de Queiroz´ e Centro de Energia Nuclear na Agricultura - ESALQ/CENA-USP. Desenvolveu parcialmente seu doutorado na Universidade de Otago, Nova Zelândia. É professor adjunto do Centro de Engenharias, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas, na Universidade Federal do ABC, Santo André, SP e credenciado no Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental PPG-CTA. Tem experiência na área de ecologia de ecossistemas, com ênfase em ecologia aquática, atuando principalmente nos seguintes temas: qualidade da água, ecologia de riachos, vegetação ripária e emissões de gases de efeito estufa.

ROBERTA AVERNA VALENTE

Engenheira florestal, formada na ESALQ/USP, mestrado e doutorado em recursos florestais e pós-doutorado pela mesma instituição. É professora da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), campus Sorocaba, credenciada no Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis (PPGPur, UFSCar/Sorocaba) e desenvolve projetos aplicando o geoprocessamento ao planejamento ambiental, em especial, com Avaliação Multicriterial (AMC), ecologia da paisagem e Serviços Ecossistêmicos (SE). É líder do grupo de Pesquisa Geotecnologias e Planejamento Florestal (GEOPLAN, UFSCar), tendo como principal projeto (FAPESP 2018/21612-8) a priorização de áreas à conservação florestal em Programas de SE hídricos.

RONALDO ALBERTO POLLO

Doutor em Agronomia-Energia na Agricultura pela Faculdade de Ciências Agronômicas/UNESP/Botucatu-SP (2017); Mestre em Agronomia-Energia na Agricultura FCA/UNESP/Botucatu-SP (2013); Especialista em Gestão Ambiental e Desenvolvimento Sustentável pela UNINTER /Fatec Internacional (2010) Graduação em Geografia-Faculdades Integradas de Botucatu/SP (1997) e curso Técnico Agrícola pela Escola Agrícola Estadual D. Sebastiana de Barros-São Manuel-SP. Atua na área de Topografia, Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento do Departamento de Engenharia Rural da FCA/UNESP/Botucatu-SP e realiza atividades de pesquisa em Sensoriamento Remoto aplicado em estudos ambientais e na gestão e manejo de bacias hidrográficas, planejamento do uso da terra, áreas de preservação permanentes (APPs), conflitos de uso da terra, estudo da rede de drenagem, classes de declive, Sistemas de Informações Geográficas (SIG), Topografia e Sistema de Posicionamento Global (GPS). Membro Honorário da Rosalind da London Journals Press-Reino Unido. Pesquisador do Grupo de Estudos e Pesquisas Agrárias Georreferenciadas - GEPAG na FCA/UNESP/Botucatu-SP, cadastrado e certificado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq.

WELLMO DOS SANTOS ALVES

Doutor e Mestre em Geografia (com ênfase em Geografia Física), além de ter atribuições de bacharel em Geografia (Crea: 21947/D-GO), ambos pela UFG; Engenheiro Agrônomo (Crea-RNP: 1005596280) pelo Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde; Técnico em Agropecuária pelo CEFET de Rio Verde. Atuação: professor permanente no Programa de Pós-Graduação em Geografia do Instituto de Geografia da Universidade Federal de Jataí e no Programa de Engenharia Aplicada e Sustentabilidade do Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde; coordenador do Laboratório de Ciências Agrárias (LCA) do Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde. Linhas de pesquisa "Modelagem do sistema solo-planta-atmosfera e "Geotecnologias aplicadas à análise, planejamento e monitoramento ambiental". Interesse nos seguintes temas relacionados ao ensino, à pesquisa e à extensão: Análise, Monitoramento e Modelagem de Sistemas Ambientais e de Agroecossistemas.

WILKER ALVES MORAIS

Possui graduação em Engenharia Ambiental pela Universidade de Rio Verde (2010). Especialista em Engenharia de Segurança do trabalho pela Universidade de Rio Verde (2012). Mestrado em Ciências Agrárias - Agronomia do Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde (2014). Doutorado em

AUTORES

Ciências Agrárias - Agronomia do Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde (2016). Pós-doutorando em Ciências Agrárias - Agronomia Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde. Foi professor contratado na Universidade de Rio Verde - UniRV, nos cursos de Engenharia Ambiental e Agronomia, no ano de 2014. Foi professor substituto no Instituto Federal Goiano - campus Rio Verde nos cursos de graduação de Engenharia Ambiental, Saneamento Ambiental, Biologia e Engenharia Civil e nos cursos técnicos de Química, Alimentos e Segurança do Trabalho entre os anos de 2018/2 e 2020/1.

ZACARIAS XAVIER DE BARROS

Professor Titular, desde 1999, pela Faculdade de Ciências Agronômicas da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP Botucatu SP). Atualmente atua principalmente nos seguintes temas: uso da terra, sig- ocupação do solo-bacia hidrográfica, classes de declive-unidades de solo-relevo, amostras circulares teste análise multivariada e fotografias aéreas restituição.

ZENILDA LEDO DOS SANTOS

Bacharel e Licenciada em Ciências Biológicas pela Escola Superior de Agricultura " Luiz de Queiroz " (ESALQ/USP). Atualmente mestranda em Solos e Nutrição de Plantas no Departamento de Ciências do Solo na ESALQ/USP e assessora de gabinete na Secretaria Municipal de Agricultura e Abastecimento (SEMA) em Piracicaba – SP

www.poisson.com.br
contato@poisson.com.br

@editorapoisson

https://www.facebook.com/editorapoisson